VERDAULICHKEITSUNTERSUCHUNGEN BEIM SCHWEIN MIT HILFE DER NYLONBEUTEL–TECHNIK

Wolfgang Rapp

1972

Aus dem Institut für Tierphysiologie und aus dem Institut
für Ernährungsphysiologie der Tierärztlichen Fakultät
der Universität München

Vorstände: Prof. DDr. DDr. h.c.Johs. Brüggemann
Prof. Dr. Dr. Jürgen Tiews

VERDAULICHKEITSUNTERSUCHUNGEN BEIM SCHWEIN MIT HILFE DER NYLONBEUTEL-TECHNIK

Inaugural - Dissertation
zur Erlangung der tiermedizinischen Doktorwürde der
Tierärztlichen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität
München

von
Wolfgang Rapp
aus
Bad Reichenhall

München 1972

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Gedruckt mit Genehmigung der Tierärztlichen
Fakultät der Universität München

Dekan: Prof. Dr. J. Boessneck
Referent: Prof. Dr. Dr. J. Tiews
Korreferent: Prof. Dr. J. Kalich

Tag der Promotion: 11.2.1972

DISSERTATIONS – und FOTODRUCK FRANK oHG
8000 München 2 · Gabelsbergerstr. 15 · Tel.: 2 80 90 90

INHALTSVERZEICHNIS

		Seite
1.	EINLEITUNG	1
2.	LITERATUR	3
	2.1 Der Energiebedarf des Tieres	3
	2.2 Das energetische Leistungsvermögen der Futtermittel	4
	2.3 Methoden zur Bestimmung der Verdaulichkeit von Futterrationen und Komponenten	11
	2.3.1 Der klassische Verdauungsversuch	13
	2.3.2 Das Differenzverfahren	15
	2.3.3 Das Indikatorverfahren	16
	2.3.4 Die Nylon-Bag-Technique	18
3.	PROBLEMATIK UND ZIEL EIGENER UNTERSUCHUNGEN	22
4.	MATERIAL UND METHODEN	28
	4.1 Versuchstiere	28
	4.2 Tierhaltung	28
	4.3 Zusammensetzung der Versuchsdiäten	29
	4.4 Mischen der Versuchsdiäten	33
	4.5 Fütterung der Versuchstiere	34
	4.6 Chromoxid-Indikator-Methode	36
	4.7 Herstellung und Eingabe der Nylonbeutel	43
5.	ERGEBNISSE	45
	5.1 Vorversuch (Verdünnungsversuch)	45
	5.2 Überkreuzversuche	47
6.	DISKUSSION	57
7.	ZUSAMMENFASSUNG	70
8.	LITERATURVERZEICHNIS	74
9.	LEBENSLAUF	

1. EINLEITUNG

Eine ökonomische Fütterung landwirtschaftlicher Nutztiere setzt die Kenntnis des energetischen Leistungsvermögens von Futterstoffen voraus, weil der tierische Organismus seinen ständigen Energiebedarf durch Oxydation der mit der Nahrung aufgenommenen Nährstoffe deckt. Nur ein Teil der im Futtermittel enthaltenen chemischen Energie - bestimmbar über die Verbrennungswärme im Bombenkalorimeter - steht dem Tier als nutzbare Energie (Nettoenergie) zur Verfügung, weil größere Energiemengen

a) über unverdaute Nahrungsbestandteile im Kot,
b) über brennbare Bestandteile des Harns oder als gasförmige Ausscheidungen (z.B. Methan beim Wiederkäuer),
c) über eine unvermeidbare Wärmeabgabe beim intermediären Nährstoffabbau

den Körper ungenutzt verlassen.
Nur bei Kenntnis des Nettoenergiewertes kann das Leistungsvermögen eines Futtermittels vorausgesagt werden.

Seit längerer Zeit bemühen sich die obigen Institute, die technische Durchführung des klassischen Verdauungsversuchs am Schwein zu modifizieren, einfacher zu gestalten und ihn

zeitlich abzukürzen. Mit der Einführung eines neuen Verfahrens, der sogenannten Nylonbeutel-Technik, soll nach Möglichkeit die weitgehend übliche quantitative Kotsammlung in Verdauungsversuchen umgangen und vermieden werden. Im Rahmen der in diesem Zusammenhang umfangreich durchgeführten Verdauungsstudien erhielt ich die Aufgabe, die Nylonbeutel-Technik methodisch weiterzuentwickeln und auf ihre Brauchbarkeit für die Bestimmung der Trockensubstanz (= TS.) - Verdaulichkeit von Mischfutterrationen an Schweinen zu prüfen.

2. L I T E R A T U R

2.1. Der Energiebedarf des Tieres

Jeder lebende Organismus bedarf zur Aufrechterhaltung seiner Lebensäußerungen einer relativ konstanten und gleichmäßigen Energiezufuhr über die Nahrung, denn alle lebensnotwendigen Vorgänge wie die Biosynthese körpereigener Makromoleküle, der mannigfache Stofftransport gegen ein Konzentrationsgefälle sowie mechanische Arbeitsleistungen (Muskelarbeit) des Individuums sind energiezehrende, endergone Prozesse. Sie werden energetisch über exergone Abbaureaktionen der Nährstoffe gespeist, wobei der Energieerhaltungssatz (1. Hauptsatz der Thermodynamik) auch für den lebenden Organismus als ein mit seiner Umwelt kommunizierendes "offenes System" seine Gültigkeit bewahrt.

Als energetischen Grundumsatz eines Tieres bezeichnet man seine Wärmeabgabe in postresorptiver Phase, im Zustand absoluter körperlicher Ruhe und in einer für jede Tierart spezifischen Neutraltemperatur der Umgebung. Der Grundumsatz kann direkt durch Messung der vom Tier abgegebenen Wärmemenge oder indirekt über Gaswechselmessungen ermittelt werden (direkte und indirekte Kalorimetrie).

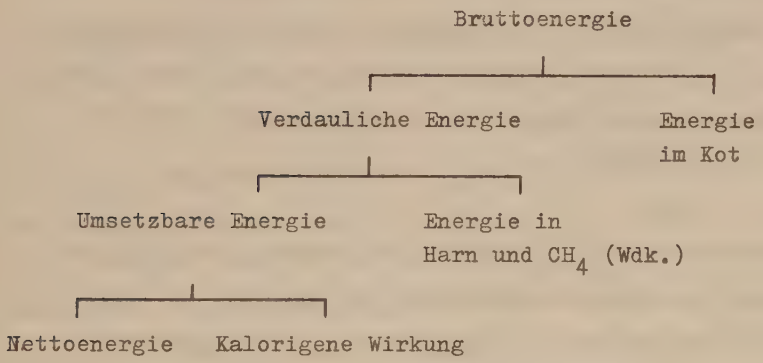
Bei Tieren läßt sich in der Regel nur der Erhaltungsumsatz experimentell bestimmen, da diese sich im Verlauf mehrstündiger Untersuchungen zumeist unkontrollierbar bewegen und deshalb eine über den Grundumsatz erhöhte Wärmeabgabe zeigen. Bei der Betrachtung der tierischen Produktion unter ökonomischen Gesichtspunkten ist allein der Leistungsumsatz eines Tieres ausschlaggebend, der den zusätzlichen Energieaufwand für Fleisch- und Fettansatz oder tierische Produkte wie Milch und Eier miteinschließt.

2.2. Das energetische Leistungsvermögen der Futtermittel

Die mit einem Futtermittel aufgenommene chemische Energie läßt sich als Verbrennungswärme des Futtermittels [kcal/g] im Bombenkalorimeter experimentell exakt ermitteln und wird bei der Futterbewertung als Bruttoenergie des Futtermittels bezeichnet. Die bei der Umsetzung des Futtermittels auftretenden Energieverluste im Verlauf der Verdauung bzw. nach Resorption der Nährstoffe im intermediären Stoffwechsel gibt Abb.1 wieder.

Abbildung 1

Energieausnutzung im Tier (3o)



Durch Abzug des Energiebetrages der mit dem Kot ausgeschiedenen, unverdaulichen Futterbestandteile von der Bruttoenergie gelangt man zur verdaulichen Energie des Futtermittels. Bei der Umsetzung stickstoffhaltiger Nährstoffe im intermediären Stoffwechsel entstehen weitere energiehaltige Stoffwechselendprodukte, die im Harn ausgeschieden werden und energetisch ebenfalls nicht genutzt werden können (Harnstoff, Harnsäure, Allantoin usw.) . Aus der Differenz zwischen Energieeinnahme (Bruttoenergie) und Energieverlust über Kot und Harn ergibt sich die umsetzbare Energie eines Futtermittels. Beim Wiederkäuer ist außerdem der Energieverlust durch die Methanbildung im Pansen in Abzug zu bringen.

Ein weiterer Energieverlust tritt infolge der "spezifisch dynamischen Wirkung" der Nährstoffe (RUBNER) auf. Diese erhöhte Wärmeabgabe ("thermische Energie") des Körpers nach Aufnahme von Protein, Fett und Kohlenhydraten bezeichnet KLEIBER als "kalorigene Wirkung der Nährstoffe" (3o). Die Differenz zwischen umsetzbarer und thermischer Energie gibt schließlich den Nettoenergiewert eines Futtermittels (ARMSBY) an.

Die Nettoenergie der Futtertrockensubstanz [kcal/kg] bezeichnet diejenige Energiemenge, die nach Verzehr einer Futterration im energetischen Ansatz, d.h. in den vom Körper gebildeten Produkten erscheint, wenn zuvor der energetische Erhaltungsbedarf des Tieres gedeckt war. Auf den Hunger- bzw.Erhaltungsstoffwechsel bezogen ist die Nettoenergie des Futtermittels [kcal/kg] gleich dem Brennwert an Körpersubstanz, der durch 1 kg Futtermittel vor der Einschmelzung bewahrt wurde. Der Nettoenergie - wert eines Futtermittels ist demnach identisch mit der Verbrennungswärme der durch sie erzeugten bzw. "erhaltenen" Körpersubstanz.

Zur Aufstellung eines Bewertungssystems von Futtermitteln auf der Grundlage ihres Nettoenergiewertes wählte KELLNER den Fettansatz ausgewachsener Tiere als den verläßlichsten Maßstab. Bei ausgewachsenen Mastochsen ist der Eiweißansatz zu vernachlässigen und alle energetisch im Überschuß

(>Erhaltungsbedarf) zugeführten Nährstoffe (Protein, Kohlenhydrate, Lipide) werden fast ausschließlich als Körperfett angesetzt.

Der Nettoenergiewert eines Futtermittels oder einer gemischten Futterration läßt sich jedoch nur in aufwendigen Gesamtstoffwechselversuchen mit C-und N-Bilanz ermitteln. Die Aufstellung einer Kohlenstoff (C) - Bilanz, worunter man die Gegenüberstellung der C- Einnahme mit den C- Ausgaben versteht, schließt auf der Ausgabenseite auch die gasförmigen CO_2- Ausscheidungen mit ein, weshalb der Gaswechsel des Tieres in sehr umständlichen Respirationsuntersuchungen quantitativ verfolgt werden muß. Hier liegt der schwerwiegende Nachteil einer Futterwertbeurteilung auf der Grundlage der Nettoenergie.
In diesem Zusammenhang stellten NEHRING und Mit. bei der Auswertung ihrer eigenen sowie der Gesamtstoffwechselversuche von KELLNER und FINGERLING fest, daß sich die Nettoenergie einer Futtermischung aus ihrem Gehalt an verdaulichen Rohnährstoffen mit Hilfe von multiplen Regressionsgleichungen annähernd berechnen läßt. Der Gehalt an verdaulichen Nährstoffen ein und desselben Futtermittels ist zwar tierartenabhängig, läßt sich aber verhältnismäßig einfach in Verdauungsversuchen bestimmen. NEHRING und Mit. schlagen deshalb für die praktische Futterbewertung vor, künftig den Nettoenergiewert eines Futtermittels für die Fettsynthese ($Nettoenergie_{Fett}$ = NEF) durch Multiplikation

der an der jeweiligen Tierart bestimmten verdaulichen Rohnährstoffgehalte mit bestimmten Faktoren zu berechnen (4o; 41;42). Die sich aus den nachstehend aufgeführten Regressionsgleichungen ergebenden Faktoren sind für die einzelnen Tierarten unterschiedlich, weil der Nettoenergiewert$_{Fett}$ eines Futtermittels von Tierart zu Tierart unterschiedlich hoch zu veranschlagen ist.

Aus dem großen Zahlenmaterial für Rind, Schwein und Huhn lassen sich die folgenden Regressionsgleichungen zur Ermittlung der NEF aus den verdaulichen Rohnährstoffen eines Futtermittels berechnen:

Rind (r):

$NEFr\ (kcal) = 1{,}71x_1 + 7{,}52x_2 + 2{,}01x_3 + 2{,}01x_4$

Schwein (s)$^+$:

$NEFs\ (kcal) = 2{,}56x_1 + 8{,}54x_2 + 2{,}96x_3 + 2{,}96x_4$

Huhn (h)$^+$:

$NEFh\ (kcal) = 2{,}58x_1 + 7{,}99x_2 + 3{,}19x_3 + 3{,}19x_4$

x_1 = g verdaul. Rohprotein, x_2 = g verdaul. Rohfett,
x_3 = g " Rohfaser, x_4 = g " N-freie Extr.
$^+$Abzug je 1 g Disaccharid o,15 kcal,
je 1 g Monosaccharid o,3o kcal.

Eine Futter-oder Nährstoffmenge hat den energetischen Futterwert von 1 kcal NEF, wenn durch sie bei der Fettmast ausgewachsener Tiere unter standardisierten Bedingungen ein Zuwachs an Körperenergie von 1 kcal Fett erzeugt wird. Der NEF-Wert einer Futterration setzt sich hierbei

additiv aus den NEF-Werten der Rationskomponenten zusammen. Beim monogastrischen Tier korrespondieren VE- und NE-Werte eines Futtermittels in brauchbarer Weise, wenn auch der Zahlenwert für die Nettoenergie eines Futtermittels [kcal NE/kg] sehr viel niedriger liegt.

Mit den Arbeiten von NEHRING und Mit. ist die altbewährte Technik des Verdauungsversuches wieder stärker in den Mittelpunkt des wissenschaftlichen Interesses gerückt, weil über die Verdauungskoeffizienten der Futterrohnährstoffe ein direkter Weg zum Nettoenergiewert des Einzelfuttermittels (oder auch der gemischten Ration) führt. Das NEHRING -Verfahren umgeht künftig den ungeheuren Arbeitsaufwand des Respirationsversuches, der zumindest theoretisch dem bisher geltenden Stärkewertsystem nach KELLNER in der Wiederkäuerfütterung zugrunde lag. In praxi jedoch ist auch im Stärkewertsystem seit vielen Jahren bei der Berechnung des Stärkewerts von den verdaulichen Rohnährstoffen ausgegangen worden, wobei bestimmte Wertigkeitsfaktoren, wozu auch der "Rohfaserabzug" gehört, einbezogen werden mußten. Das KELLNER'sche Stärkewertberechnungsverfahren ist bis heute die Grundlage der Wiederkäuerfütterung in der BRD. Es basiert auf dem Nettoenergiewert$_{Fett}$ der gebräuchlichsten Einzelfuttermittel bei der Mast ausgewachsener Ochsen.

Für die Schweinefütterung hat LEHMANN in Anlehnung an KELLNER den Begriff "Gesamtnährstoff" (GN) eingeführt (26). Unter dem Gehalt eines Futtermittels an Gesamtnährstoffen (GN) versteht man die Summe seiner verdaulichen Rohnährstoffe, wobei der hohen Verbrennungswärme des verdaulichen Rohfettes durch Multiplikation mit dem Faktor 2,3 Rechnung getragen wird:

	Verdaul.	Rohprotein [g/kg]
+	"	N-freie Extr. [g/kg]
+	"	Rohfaser [g/kg]
+	"	Rohfett [g/kg] x 2,3
		GN [g/kg]

Der GN-Wert wird entweder durch Ermittlung der prozentualen Verdaulichkeit (D%) der Rohnährstoffe im Tierversuch direkt bestimmt, oder aber man multipliziert die chemisch analysierten Rohnährstoffwerte des Futtermittels mit den entsprechenden Verdauungskoeffizienten (D), die man für die Mehrzahl der Futtermittel den gebräuchlichen Futterwerttabellen entnehmen kann.

Der GN-Wert charakterisiert ein Futtermittel auf der Stufe der verdaulichen Energie (VE) : 1 g GN = 4,4 kcal VE. Futtermittel mit einem hohen Gehalt an VE besitzen auch einen hohen Nettoenergiewert. VE- und NE-Werte eines Fut-

termittels korrespondieren also beim monogastrischen Tier in brauchbarer Weise, wenn auch der Zahlenwert des Nettoenergiewertes [kcal/kg] sehr viel niedriger liegt. Da die abnehmende "Wertigkeit" mit steigendem Rohfasergehalt der Ration nicht wie im KELLNER'schen Stärkewertsystem durch einen Rohfaserabzug berücksichtigt wird, muß die GN-Bewertung auf rohfaserarme und hochverdauliche Futterrationen bei der Schweinemast beschränkt bleiben.

Aus grundsätzlichen Erwägungen wäre auch für die Schweine- und Geflügelfütterung die Einführung des Nettoenergiewertsystems wünschenswert, wie es von NEHRING und Mit. kürzlich vorgeschlagen wurde.

2.3. Methoden zur Bestimmung der Verdaulichkeit von Futterrationen und Einzelkomponenten

Alle Verfahren zur leistungsgerechten Beurteilung von Futterrationen haben ihren Ausgangspunkt in der Bestimmung der Nährstoffverdaulichkeit von Futtereinzelkomponenten bzw. Futtermischungen. Die beim enzymatischen Aufschluß der Futterbestandteile und bei deren Resorption im Magen-Darm-Kanal ineinander greifenden Prozesse sind sehr komplex. Verdaulichkeitsbestimmungen an Gesamtrationen und Einzelkomponenten können deshalb nur mit Hilfe des Tierversuchs vorgenommen werden.

Im Verdauungsversuch am Tier können die metabolischen Ausscheidungen (Mikroorganismen, abgeschilferte Darmepithelien und in den Darm ausgeschiedene Sekrete) von den unverdauten Futterbestandteilen nicht abgetrennt werden. Weil hierdurch die "wahre Verdaulichkeit" eines Futtermittels verfälscht wird, spricht man besser von der "scheinbaren Verdaulichkeit" eines Futtermittels und unterstreicht damit den wahren Sachverhalt.

Die indirekte Verdaulichkeitsbestimmung im Laborversuch war nur dort erfolgreich, wo es gelang, einzelne Verdauungsvorgänge in vitro nachzuvollziehen. So ist es möglich, mit Hilfe des "künstlichen Pansens" die Verdauungsvorgänge im Vormagensystem des Wiederkäuers genauer in vitro zu studieren. Auf die Verdaulichkeit des Proteins im Magensaft bleibt ein Verfahren beschränkt, das von STUTZER vorgeschlagen wurde (55). Der Anteil des magensaftlöslichen Proteins wird hierbei in vitro mit einer HCl-Pepsin-Lösung analytisch ermittelt.

2.3.1. Der klassische Verdauungsversuch

Im klassischen Verdauungsversuch werden über einen längeren Zeitraum die von Versuchstieren aufgenommenen Futter- und ausgeschiedenen Kotmengen quantitativ erfaßt. Um eine verlustlose und über den gesamten Versuchszeitraum konstant bleibende Futteraufnahme zu gewährleisten, werden nur 80-90% der bei ad-libitum-Fütterung aufgenommenen Futtermenge angeboten. Die unverdauten Futterbestandteile einer Mahlzeit werden abhängig von der Futterpassagezeit um 24 bis 60 Std. zeitlich versetzt mit dem Kot ausgeschieden (34). Damit alle Reste des vor Versuchsbeginn verabreichten Futters aus dem Verdauungskanal verdrängt werden und sich die im Futter und Kot analysierten Bestandteile einander entsprechen, werden die Versuchstiere in einer z.B. beim Schwein 7-tägigen Vorperiode an die Untersuchungsdiät adaptiert (59). In einer sich anschließenden Hauptperiode wird bei konstanter und gleichmäßiger Fütterung der Kot der Versuchstiere quantitativ gesammelt. Verdauungsversuche dieser Art können nur dann zu fehlerfreien Resultaten führen, wenn die täglich aufgenommenen Futtermengen über Vor- und Hauptperiode unverändert konstant bleiben und dadurch der zeitlichen Überlappung von Futteraufnahme und der hiermit korrespondierenden Kotausscheidung Rechnung getragen wird.

Die Trockensubstanz-Verdaulichkeit ($D_{TS.}$%) einer Futterration wird im klassischen Verdauungsversuch wie folgt berechnet:

$$D_{TS.} = \frac{F - K}{F} \quad \text{bzw.} \quad D_{TS.}\% = (1 - \frac{K}{F}) \times 100,$$

wobei $D_{TS.}$ = TS.- Verdauungskoeffizient bzw.

$D_{TS.}$% = TS.- Verdaulichkeit in % ,

F = täglich aufgenommene Futtermenge (TS.) und

K = " ausgeschiedene Kotmenge (TS.) sind.

Der klassische Verdauungsversuch erlaubt eine zuverlässige und reproduzierbare Bestimmung der "scheinbaren Verdaulichkeit" von Futtermischungen, wenn unter standardisierten Versuchsmethoden gearbeitet wird. Ein Nachteil der Methode liegt zweifelsohne in dem zeitlichen Aufwand der Versuchsdurchführung und in der Schwierigkeit, eine stets gleichbleibende und verlustlose Aufnahme der angebotenen Futterration sowie eine quantitative Sammlung der ausgeschiedenen Kotmenge zu garantieren.

KELLNER und FINGERLING haben in umfangreichen Ausnutzungsversuchen die Verdauungskoeffizienten der gebräuchlichsten Futtermittel systematisch bestimmt, die in den heutigen Futterwerttabellen der DLG festgehalten sind.

2.3.2. Das Differenzverfahren

Der Gesamtverdaulichkeit ("total digestibility") eines Futtermittels setzt KLEIBER die Partialverdaulichkeit ("partial digestibility") einer einzelnen Futterkomponente in einer Ration gegenüber (3o). Die Partialverdaulichkeit kann nur im Zulageversuch ermittelt werden, da viele Futtereinzelkomponenten nicht isoliert über längere Zeit als Alleinfuttermittel an Versuchstiere gefüttert werden können. Um die Verdaulichkeit einer Futtereinzelkomponente untersuchen zu können, führt man den klassischen Ausnutzungsversuch in zwei aufeinander folgenden Fütterungsperioden durch. Im ersten Versuchsabschnitt wird die Grundration allein gefüttert und ihre Nährstoffverdaulichkeit ermittelt. Im zweiten Versuchsabschnitt wird das zu prüfende Futtermittel zur Grundfutterration zugelegt und die Nährstoffverdaulichkeit der Gesamtmischung an demselben Versuchstier bestimmt. Die Differenz in der täglichen Aufnahme von verdaulichen Nährstoffen zwischen beiden Versuchsabschnitten, dividiert durch die Differenz der Aufnahme von Nährstoffen, ergibt die partiale Verdaulichkeit der Zulage:

$$D_{part} = \frac{\Delta F - \Delta K}{\Delta F} ,$$

wobei ΔF = Differenz der Nährstoffaufnahme zwischen beiden Versuchsabschnitten und

ΔK = Differenz der Nährstoffausscheidung im Kot zwischen beiden Versuchsabschnitten sind.

Zusammensetzung und Umfang der Grundration dürfen durch die Zulage nicht zu sehr verändert werden; auf der anderen Seite muß aber die Zulage groß genug sein, um aus der Differenz zuverlässige Verdauungswerte zu erhalten. Bei Fütterung von Grund- und Zulagerationen mit großem Unterschied im Nährstoffgehalt, z.B. rohfaserarm und -reich, sind die Werte beim Differenzverfahren unzuverlässig, da sich Grundration und Zulage in unkontrollierbarer Weise beeinflussen. Die Bestimmung von Futtereinzelkomponenten mit Hilfe des Differenzverfahrens kann also nur in bestimmten Grenzen angewendet werden (39). KELLNER (25;27), NEHRING (42) und LENKEIT (32) konnten neben zahlreichen anderen Autoren eine Beeinflussung der Verdaulichkeit einer Grundration durch Zulage verschiedener Futterstoffe beobachten. Durch Zulage unverdaulicher Stoffe zur Grundfutterration konnte an Tieren die quantitative Futter - verzehrsregulation untersucht und der kompensatorische Regelmechanismus des Körpers zur Deckung des täglichen Nährstoff- und Energiebedarfs studiert werden (3;6;7).

2.3.3. Das Indikatorverfahren

Eine wesentliche Erleichterung der Verdaulichkeitsbestimmung von Futtermischungen bringt die Indikatormethode, bei der eine unverdauliche Merksubstanz homogen und in bekannter Konzentration in das Futter eingemischt wird. Im Gegensatz zum klassischen Verdauungsversuch kann hierbei die quantitative Erfassung der Futter- und Kotmengen

entfallen; der Verdaulichkeitsversuch kann bei ad-libitum-Fütterung durchgeführt werden.

Bei der Indikatormethode wird der Verdauungskoeffizient (D) aus dem Gehalt des Indikators im Futter und im dazu korrespondierenden Kot nach der folgenden Formel berechnet:

$$D = 1 - \frac{c_F}{c_K} \quad \text{bzw.} \quad D\% = (1 - \frac{c_F}{c_K}) \times 100 ,$$

wobei D = Verdauungskoeffizient bzw. D% = Verdaulichkeit in %,

c_F = Konzentration des Indikators im Futter und

c_K = " " " " Kot sind.

Bei der Indikatormethode kann es jedoch zu Fehlmessungen kommen, wenn folgende Voraussetzungen nicht erfüllt sind:

1. Der verwendete Indikator darf nicht verdaulich sein, muß sich im Verdauungskanal neutral verhalten und darf die physiologischen Verdauungsvorgänge nicht beeinflussen.
2. Konzentrationsverschiebungen durch Retention des Indikators in bestimmten Darmabschnitten dürfen nicht auftreten, d.h. Wanderungsgeschwindigkeiten von Indikator und Futterbrei müssen im ganzen Magen-Darm-Trakt gleich bleiben.
3. Die Konzentration des Indikators im Futter muß konstant sein, auch darf die geschmackliche Qualität und damit die Aufnahme des Futters durch organoleptisch wahrnehmbare Veränderungen nicht beeinträchtigt werden.

Eine Reihe von Substanzen wurden auf ihre Brauchbarkeit als Indikatoren untersucht: Eisenoxid Fe_2O_3, Bariumsulfat Ba SO_4, Kieselsäure Si O_2, Chromoxid Cr_2O_3, Polyäthylenglykol $HOH_2C-(H_2C-O-CH_2)_n-CH_2OH$, Polyäthylen $\left[-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-\right]$ u.a.
Als brauchbarste Substanz hat sich das von EDIN (14) vorgeschlagene Chrom-III-oxid erwiesen, das allen oben erwähnten Anforderungen am nächsten kommt. Die von EDIN vorgeschlagene Cr_2O_3-Indikatormethode zur Verdaulich - keitsbestimmung wurde methodisch weiter ausgebaut und am Menschen sowie an verschiedenen Tierarten überprüft (8;9;1o;13;24;31;45;47;51).

2.3.4. Die Nylon-Bag-Technique

Der Abt SPALLANZANI darf als Begründer der heutigen Nylonbeutel-Technik angesehen werden. Er studierte an Schafen, Rindern und Pferden mit Hilfe einer ihm von REAUMUR vorgeschlagenen Methode die Verdauung von verschiedenen Gräsern und Getreidearten. Das zerkleinerte Untersuchungsmaterial wurde in kleine, an beiden Seiten offene Messingröhrchen eingefüllt. Diese Röhrchen wurden in Leinwandsäckchen eingenäht und den Versuchstieren per os in den Magen geschoben. Durch organoleptische Untersuchungen versuchte SPALLANZANI Unterschiede in der Verdaulichkeit von unvorbehandelten und von ihm selbst eingespeichelten Proben zu finden. Seine Be-

obachtungen publizierte er in dem Aufsatz: "Versuche über das Verdauungsgeschäfte des Menschen und verschiedener Thier-Arten" (53).

Erst in neuester Zeit wurden Verdaulichkeitsversuche nach diesem Prinzip wieder aufgenommen, nachdem man mit Hilfe neu entwickelter Kunstfasergewebe permeable "Futterbehälter" herstellen konnte. Das als "Nylon-Bag-Technique" bezeichnete Verfahren wurde jedoch ausschließlich beim Studium der Pansenverdauung des Wiederkäuers eingesetzt. Hierbei wird das zerkleinerte Untersuchungsmaterial in Beutel aus Nylongewebe eingefüllt und über künstlich angelegte Fisteln in den Pansen der Versuchstiere verbracht. Nach Beendigung der Verdauung werden die Futterbeutel unbeschädigt wieder entnommen und auf ihren unverdauten Inhalt hin untersucht.
VAN KEUREN und HEINEMANN (56) bestimmten mit dieser Schnellmethode die Trockensubstanz-Verdaulichkeit verschiedener Grasarten und konnten bei konstanter Zusammensetzung des Probenmaterials eine gute Reproduzierbarkeit der Verdauungskoeffizienten auffinden. In Abhängigkeit von der Verweildauer (24,48,72 Std.) der Futterbeutel im Pansen konnten sie eine steigende Verdaulichkeit des Inhalts beob - achten.
Auch ERWIN und ELLISTON (15) sowie ALGEO und Mit. (1) haben die Trockensubstanz (TS.) - Verdaulichkeit verschiedener Heu-und Grasarten sowie verschieden technologisch hergestellter Milokorn-Proben erfolgreich untersucht.

ARCHIBALD und Mit. (2) untersuchten an Alfalfa- und Timothy-Heu mit Hilfe der Nylon-Bag-Technique die Verdauungskoeffizienten der Rohnährstoffe, der Futterenergie sowie von Cellulose, Lignin und Pentosanen. Ein Vergleich mit den nach der konventionellen Kot-Sammel-Methode festgestellten Werten zeigte, daß die Verdauungskoeffizienten der Rohnährstoffe gut übereinstimmten. Die bei Cellulose, Lignin und Pentosanen zwischen beiden Verfahren beobachteten Unterschiede in der Verdaulichkeit vermochten diese Autoren nicht zu erklären.

HOPSON und Mit.(23) verglichen an Pansenfistelschafen die Verdauungskoeffizienten von Cellulose als Bestandteil vier verschiedener Grassorten, die in vivo (Nylon-Bag-Technique) und in vitro (nach DEHORITY) ermittelt wurden. Sie fanden eine gute Übereinstimmung der nach beiden Methoden gefundenen Verdauungskoeffizienten der untersuchten Celluloseearten, stellten aber fest, daß die Verdaulichkeit des Nylonbeutel-Inhalts durch das Haltungsfutter im Pansen der Versuchstiere beeinflußt wurde.

NEATHERIE (38) untersuchte die TS.-Verdaulichkeit von sechs Einzelfuttermitteln mit unterschiedlichem Rohfasergehalt in Nylonbeuteln an Bullen, deren Haltungsdiät abwechselnd aus Alfalfa-Gras und in der anderen Fütterungsperiode aus Bermuda-Gras bestand. Die TS.-Verdaulichkeit der Einzelfuttermittel als Beutelinhalt wurde durch das an die Stiere verfütterte Haltungsfutter beeinflußt (Tab.1).

Tabelle 1

Mit Hilfe der Nylon-Bag-Technique an Pansenfistelrindern festgestellte Futter-TS.-Verdaulichkeit (%) verschiedener Rationen nach NEATHERIE (38)

Untersuchungs-material in Nylonbeuteln	Haltungsfutter der Bullen		Verdaulich-keitsdif-ferenz in %
	Alfalfa-Gras	Bermuda-Gras	
Alfalfa-Gras	52,9	59,4	11,o
Bermuda-Gras	33,4	4o,6	17,7
Baumwollsaatschrot	26,7	29,6	9,8
Maiskolben	2o,4	27,9	26,7
Sojabohnenstroh	19,o	24,9	23,6
Maisstroh	17,6	19,2	8,4
Durchschnitt	28,3	33,6	15,8

3. PROBLEMATIK UND ZIEL EIGENER UNTERSUCHUNGEN

Seit geraumer Zeit bemühen wir uns in unserem Institut, die Nylonbeutel-Technik (NBT) auf Verdaulichkeitsuntersuchungen am Schwein auszudehnen (44;48). In den vorerwähnten Fistelversuchen am Wiederkäuer wurde die Einwirkung des Pansensaftes auf den Nylonbeutelinhalt studiert; im Gegensatz hierzu bestimmten wir mit Hilfe der NBT die Gesamtverdaulichkeit der Futter-Trockensubstanz nach vollständiger Magen-Darm-Passage am Schwein. Das Schwein wurde als Versuchstier gewählt, da bei diesem Tier mit seinem anatomisch einfach aufgebauten Magen-Darm-System eine ungestörte Beutelpassage zu erwarten war. Die Passage von Nylonbeuteln war aber nur möglich, wenn ihre maximale Größe auf den größtmöglichen Öffnungsquerschnitt einzelner Abschnitte des Verdauungskanals, besonders des Ostium pylori, abgestimmt wurde. Andererseits war zu beachten, daß die Mindestgröße der Beutel durch die analytische Nachweisgrenze der an dem unverdaulichen Beutelinhalt durchzuführenden Untersuchungen begrenzt war.

RECH (48) entwickelte die NBT methodisch weiter und konnte die Anwendbarkeit des Verfahrens für Verdaulichkeitsbestimmungen am Schwein nachweisen. In Anlehnung an die Nylonbeutel-Versuche anderer Autoren untersuchte er verschiedene, im Handel angebotene Kunststoffgewebe auf ihre Eig-

nung zur Herstellung von Futterbeuteln, wobei sich nur das monofile Nylongewebe NYTAL 5/u Spezial für derartige Untersuchungen als brauchbar erwiesen hat (Tab.2).

Tabelle 2

Zur Herstellung von Futterbeuteln untersuchte Materialien nach RECH (48)

Hersteller	Materialtyp
Vereinigte Seidenwebereien AG, Krefeld	Perlongewebe Type MONODUR 31; 35; 4o; 45;
Farbwerke HOECHST AG, Frankfurt/Main	TREVIRA-Gewebe Nr.3
MILLIPORE Filter GmbH, Neu-Isenburg	Nylonverstärktes Cellulose-Ester-Filter, Type MICROWEB WS Polyvinylchlorid-Filter, Type POLYVIC BS Nylon-Filter, Type DURALON NC;NR Diffusionskammerröhrchen, Type CH
Schweizer Seidengazefabrik AG, Thal/St. Gallen	Multifile Nylongewebe, Type NYTAL 1M; 2F/131; 2F/186; 4F; 45F Monofile Nylongewebe, Type NYTAL 12/u; P-2o/u; P-25/u; 17/12/u; 23/12/u; 5/u Spezial

Das Material hat eine definierte Porenweite von 5 µ und läßt sich mit Hilfe eines Schweißgerätes in der Hitze zu Futterbeutel beliebiger Größe und Gestalt verarbeiten. Das Gewebe selbst ist absolut unverdaulich, verhält sich im Organismus neutral und hält allen mechanischen Einwirkungen bei der Magen-Darm-Passage stand. Im Gegensatz zu allen anderen untersuchten Gewebetypen konnte RECH nur mit dem NYTAL 5 µ Spezial-Gewebe zuverlässige und reproduzierbare Werte der TS.-Verdaulichkeit von Mischfutterrationen erreichen. Dies deutet darauf hin, daß der Austausch von Verdauungsenzymen und gelösten Nährstoffen durch das Gewebe ohne Behinderung erfolgen kann. Andererseits wird das Eindringen von Futterbrei sowie das Austreten ungelöster Futterbestandteile verhindert.
In den ersten Versuchen von RECH war die Wiederauffindungsrate der Nylonbeutel im Kot mit etwa 30% nicht befriedigend. Bei Probeschlachtungen der Versuchstiere wurde mehrere Tage nach Eingabe von Beuteln festgestellt, daß die im Kot nicht ausgeschiedenen Nylonbeutel im Magenbrei schwebend verblieben. Erst durch Anwendung einer besonderen Fütterungstechnik bei den Versuchstieren nach der Eingabe von Nylonbeuteln konnte eine befriedigende Wiederauffindungsrate von über 65% erreicht werden.
Nach methodischer Weiterentwicklung der NBT untersuchte RECH die Futter-TS.-Verdaulichkeit eines mit unverdaulicher Cellulose unterschiedlich verdünnten Schweinemastfertigfutters. Zur Überprüfung der mit der NBT erhaltenen

D%-Werte wurde die TS.-Verdaulichkeit dieser Versuchsdiäten nach der Cr_2O_3-Indikator-Methode an denselben Tieren ermittelt (Tab.3).

Tabelle 3

Futter-TS.-Verdaulichkeit (%) eines mit Cellulose verdünnten Schweinemastfertigfutters, ermittelt nach der Nylonbeutel-Technik und der Cr_2O_3-Methode nach RECH (48)

Diät	Cr_2O_3-Methode	Nylonbeutel-Technik
Schweinemastfertigfutter unverdünnt	$\bar{x}$= 79,29 s= 1,06 n= 16	$\bar{x}$= 79,32 s= 3,91 n= 3o R= 75
Schweinemastfertigfutter + 17,8% Cellulose	$\bar{x}$= 64,23 s= 3,71 n= 16	$\bar{x}$= 64,05 s= 3,35 n= 3o R= 83
Schweinemastfertigfutter + 3o,7% Cellulose	$\bar{x}$= 52,97 s= 5,71 n= 16	$\bar{x}$= 53,56 s= 2,9o n= 22 R= 69

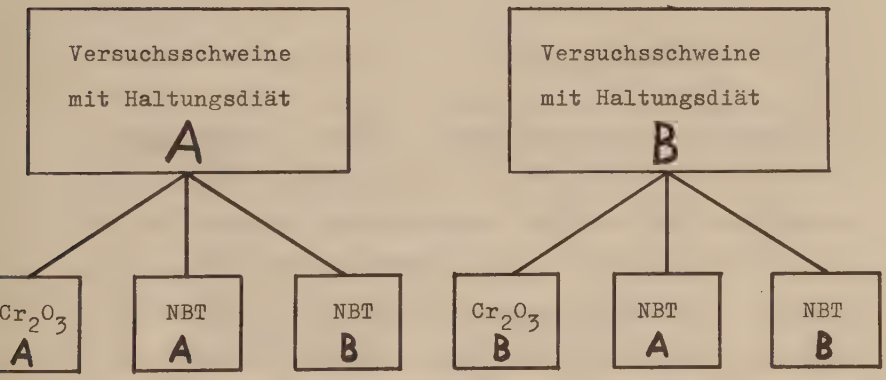
$\bar{x}$= Mittelwert der Einzelbestimmungen
s= Standardabweichung
n= Anzahl der Einzelbestimmungen
R= Wiederauffindungsrate (%) der Nylonbeutel

Die Übereinstimmung der nach beiden Methoden gefundenen D%-Werte in allen Versuchen lassen auf die Brauchbarkeit der NBT für TS.-Verdaulichkeitsbestimmungen von Futtermischungen am Schwein schließen.

Eine technische Vereinfachung und zeitliche Abkürzung des klassischen Verdauungsversuchs ist nach unserer Meinung erreicht, wenn die Verdaulichkeit verschiedener Mischfutterrationen mit Hilfe der NBT an Versuchstieren bestimmt werden kann, die während der NBT-Versuche mit einem beliebigen, der jeweiligen Untersuchungsdiät im Nylonbeutel nicht identischen Haltungsfutter gefüttert werden. Voraussetzung dafür ist, daß die Verdaulichkeit des Beutelinhalts nicht durch Art und Zusammensetzung des Haltungsfutters störend beeinflußt wird. Deshalb wurde im Anschluß an die Untersuchungen von RECH im Rahmen dieser Arbeit die Futter-TS.-Verdaulichkeit von Mischfutterrationen "überkreuzt" ermittelt. Bei diesen Überkreuzversuchen wurde die TS.-Verdaulichkeit der Diäten A und B in Nylonbeuteln an denselben Tieren untersucht, deren Haltungsdiät abwechselnd aus Diät A und in der sich anschließenden Fütterungsperiode aus Diät B bestand. Parallel zur NBT wurde die TS.-Verdaulichkeit der jeweiligen Haltungsdiät an denselben Versuchstieren nach der Cr_2O_3-Indikator-Methode ermittelt (Abb. 2).

Abbildung 2

Schema des Überkreuzverfahrens
zur Bestimmung der TS.-Verdaulichkeit zweier Diäten
mit Hilfe der NBT und des Cr_2O_3-Indikatorverfahrens



4. M A T E R I A L und M E T H O D I K

4.1. Versuchstiere

Die Untersuchungen wurden an jeweils drei kastrierten Ebern (DvL) aus einem Wurf in der Gewichtsklasse von 3o bis 8o kg Lebendgewicht durchgeführt.

4.2. Tierhaltung

Die Versuchstiere wurden einzeln in Stoffwechselkäfigen nach OSLAGE (18) gehalten. Bei männlichen Tieren war eine Trennung von Kot und Harn gewährleistet. Der Kot fiel frei in eine herausnehmbare Aluminium-Schale, während der Harn durch den mit PVC überzogenen Bodenrost aus parallel angeordneten Eisenstäben über einen Trichter in einen Sammelbehälter ablaufen konnte. Der Futtertrog an der Frontseite des Käfigs bestand ebenfalls aus Aluminium und war herausnehmbar. Durch Abstandsänderung der Seitenwände sowie der oberen und hinteren Begrenzungen konnte die Käfiggröße an die jeweilige Größe des Versuchstieres angepaßt werden. Infolge der Bewegungsarmut im Stoffwechselkäfig waren bei den Versuchstieren des öfteren mit zunehmendem Gewicht Affektionen an Klauen und Gelenken zu beobachten. Die Versuchstiere wurden deshalb gewöhnlich bei einem Gewicht von 8o kg ausgetauscht.

4.3. Zusammensetzung der Versuchsdiäten

Versuchsdiät des Vorversuchs:

Schweinemastfertigfutter[1] verdünnt mit 1o,6% Cellulose[2] (bez. auf TS.)

(analytisch ermittelter Cr_2O_3-Gehalt im Haltungsfutter:o,47%)

1) Schweinemehl F/S

Schweinemastfertigfutter I für Anfangsmast

(Feldmochinger Kraftfutterwerk Dr.Zentz & Co.Nachf.)

Zusammensetzung in % (Herstellerangabe):

2o,o	Mais geschrotet
18,o	Weizen geschrotet
1o,o	Gerste geschrotet
7,25	Sojaschrot extr.
15,o	Eiweißkonzentrat bestehend aus
	4o,o% Fischmehl
	39,7% Sojaschrot extr.
	1o,o% Tiermehl
	5,o% Luzerne/Grasgrünmehl
	5,o% Fischpreßsaft
	o,3% Vitamin B - Konzentrat[3]
7,o	Futterzucker
7,o	Weizenbollmehl mit o,5% Vitaminvormischung[3]
6,o	Maiskleberfutter
5,5	Tapiokamehl
2,o	Melasse
2,o	Mineralstoffmischung IIa für Schweine
o,25	Aurofac 2A (= 2o mg Aureomycin/kg der Endmischung)

Analytisch ermittelter Rohnährstoffgehalt in % :

2o,9	Rohprotein
3,9	Rohfett
4,5	Rohfaser
6,7	Rohasche
11,7	Rohwasser
52,3	N-freie Extr.

2) Pulverförmige Cellulose Type 4o2 - 2b

(MIKRO - Technik GmbH, Miltenberg/Main)

Polymerisationsgrad	62o-68o
Gehalt an Alpha-Cellulose	89-9o%

3) Vitamingehalt/kg Mischfutter (Herstellerangabe):

Vitamin A	1o ooo IE
Vitamin D_3	2 ooo IE
Vitamin E	1o,o mg
Vitamin B_1	1,o mg
Vitamin B_2	2,4 mg
Vitamin B_6	o,5 mg
Vitamin B_{12}	1o,o mcg
Ca-Pantothenat	4,o mg
Nicotinsäure	6,o mg
Cholinchlorid	25,o mg

Tabelle 4

Versuchsdiäten in den Überkreuzversuchen I und II

Diät	Überkreuzversuch I		Überkreuzversuch II	
	A_I Getreide-Diät	B_I Getreide-Polyäthylen-Diät	A_{II} Mais-Diät	B_{II} Gersten-Diät
Zusammensetzung in %:				
Mais geschrotet	35	28	74,6	2o
Weizen geschr.	25	2o	-	2o
Gerste geschr.	-	-	-	42,4
Hafer geschr.	2o	16	-	-
Sojaschrot (44% RP)	13	1o,3	22	6
Fischmehl (65% RP)	4	3,2	-	1o
Süßmolke	o,2	o,16	-	-
$CaHPO_4$	1	o,8	1,6	o,3
$CaCO_3$	1	o,8	1	o,6
NaCl jod.	o,3	o,24	o,3	o,2
Vitaminvorm.[1)]	o,5	o,5	o,5	o,5
Polyäthylen[2)]	-	2o	-	-
Analytisch ermittelter Rohnährstoffgehalt in %:				
Rohprotein	16,3	12,7	17,3	18,5
Rohfett	2,7	2,6	2,9	1,9
Rohfaser	5,o	23,5	3,8	4,3
Rohasche	4,5	3,8	4,4	4,4
Rohwasser	12,2	9,7	9,4	1o,1
N-freie Extr.	59,2	47,8	62,2	6o,8
Analytisch ermittelter Cr_2O_3-Gehalt (bez. auf TS.) in %:				
	o,52	o,48	o,53	o,48

1) 1 kg Mischfutter enthält:

Vitamine:	Vitamin A	5 ooo IE
	Vitamin D_3	5oo IE
	Vitamin E	1o mg
	Vitamin B_2	2 mg
	Vitamin B_{12}	1o mcg
	Ca-Pantothenat	5 mg
	Nicotinsäure	1o mg
	Cholinchlorid	1oo mg
Spurenelemente (als Sulfate):	Mn	32,5 mg
	Zn	45,5 mg
	Fe	4o,2 mg
	Cu	12,7 mg
Aureomycin		24,o mg

Vitamine, Spurenelemente und Aureomycin wurden an Sojafeinmehl gebunden als Vitaminvormischung in die Versuchsdiäten eingemischt.

2) Polyäthylen in Mehlform LUPOLEN ^{R} Type KR 1258 (Badische Anilin & Soda Fabrik, Ludwigshafen/Rh.)

4.4. Mischen der Versuchsdiäten

Bei jedem unserer Verdauungsversuche wurden etwa 4oo kg der jeweiligen Versuchsdiät benötigt. Zur Bestimmung der TS.-Verdaulichkeit nach der Indikatormethode wurde in alle Versuchsdiäten ca. o,5% Chromoxid (Cr_2O_3, 99%ig) eingemischt. Der homogenen Feinverteilung des Chromoxids in den Futtermischungen ist besondere Beachtung zu schenken, da das staubförmige Cr_2O_3 zu unkontrollierbarer Adsorption neigt. Deshalb wurde nach folgendem Mischplan verfahren: Die in jedem Verdauungsversuch benötigte Versuchsdiät wurde aus den auf Seite 29 bzw. 31 angegebenen Einzelkomponenten gemischt. Von dieser Ausgangsmischung wurde eine repräsentative Stichprobe (4 kg) entnommen. Etwa 5oo g davon wurden zum Füllen der Nylonbeutel aufbewahrt; der verbleibende Anteil von 3,5 kg wurde in einer gesonderten Mischtrommel mit 45o g Cr_2O_3/1oo kg Endmischung lufttrocken angereichert. Diese Cr_2O_3-haltige Vormischung wurde in einem zweiten Mischgang mit der Ausgangsmischung wieder vereint, die dann einen ungefähren Cr_2O_3-Gehalt von o,5% (bez. auf TS.) aufwies. Anschließend wurden die Cr_2O_3-Gehalte für jeden Rationstyp durch Mehrfachanalyse genau ermittelt. Die so erhaltenen Werte bildeten die Basis für die spätere Berechnung der Futter-TS.-Verdaulichkeit der einzelnen Versuchsdiäten nach der Cr_2O_3-Methode. Die fertig gemischten Diäten wurden in halbe Tagesrationen abgewogen und in luftdichte PVC-Folien eingeschweißt.

4.5. Fütterung der Versuchstiere

Jeder Verdauungsversuch war in eine Vor- und Hauptperiode aufgeteilt. Nach Umstellung auf die jeweilige Versuchsdiät wurden die Tiere in einer 7-tägigen Vorperiode an die Diät adaptiert. Um Verdauungsstörungen durch allzu abrupte Diätumstellung zu vermeiden, wurde im Verlauf von vier aufeinander folgenden Mahlzeiten die vorhergehend gefütterte Diät durch 25-5o-75-1oo% der neuen Diät ersetzt. Zu Beginn der Vorperiode wurde der ad-libitum-Verzehr individuell gemessen und dann um 1o% gekürzt, um eine möglichst gleichmäßige und konstante Futteraufnahme der Versuchstiere zu gewährleisten. Die Tiere wurden zweimal täglich (8 und 16 Uhr) gefüttert. Die mehligen Diäten wurden mit Wasser dünnbreiig angeboten, so daß der Wasserbedarf der Tiere gedeckt war (1 Teil Futter + 2 Teile Wasser).

In der Hauptperiode wurden zweimal (im Vorversuch) bzw. viermal (in den Überkreuzversuchen) in Abständen von jeweils drei Tagen die Nylonbeutel eingegeben. Während dieser als "Beutelperioden" bezeichneten Versuchsabschnitte mußte von der zweimal täglichen Fütterung der Versuchstiere abgewichen werden, um eine ungestörte Magen-Darm-Passage und somit eine befriedigende Wiederauffindungsrate der Nylonbeutel zu erreichen (RECH) :

Am Morgen des ersten Versuchstages (8 Uhr) wurden die Nylonbeutel (6 Beutel pro Tier) eingegeben. An diesem Tag wurde weder gefüttert noch getränkt. Am darauffolgenden

Morgen wurde einmalig die doppelte Menge der Futterration, bei den sich anschließenden Mahlzeiten wieder die einfache Menge gereicht. Im Verlauf des dritten Versuchstages wur - den i.d.R. die Nylonbeutel mit dem Kot ausgeschieden und dort aufgesucht (Abb.3).

Abbildung 3

Fütterung der Versuchstiere während der Beutelperiode

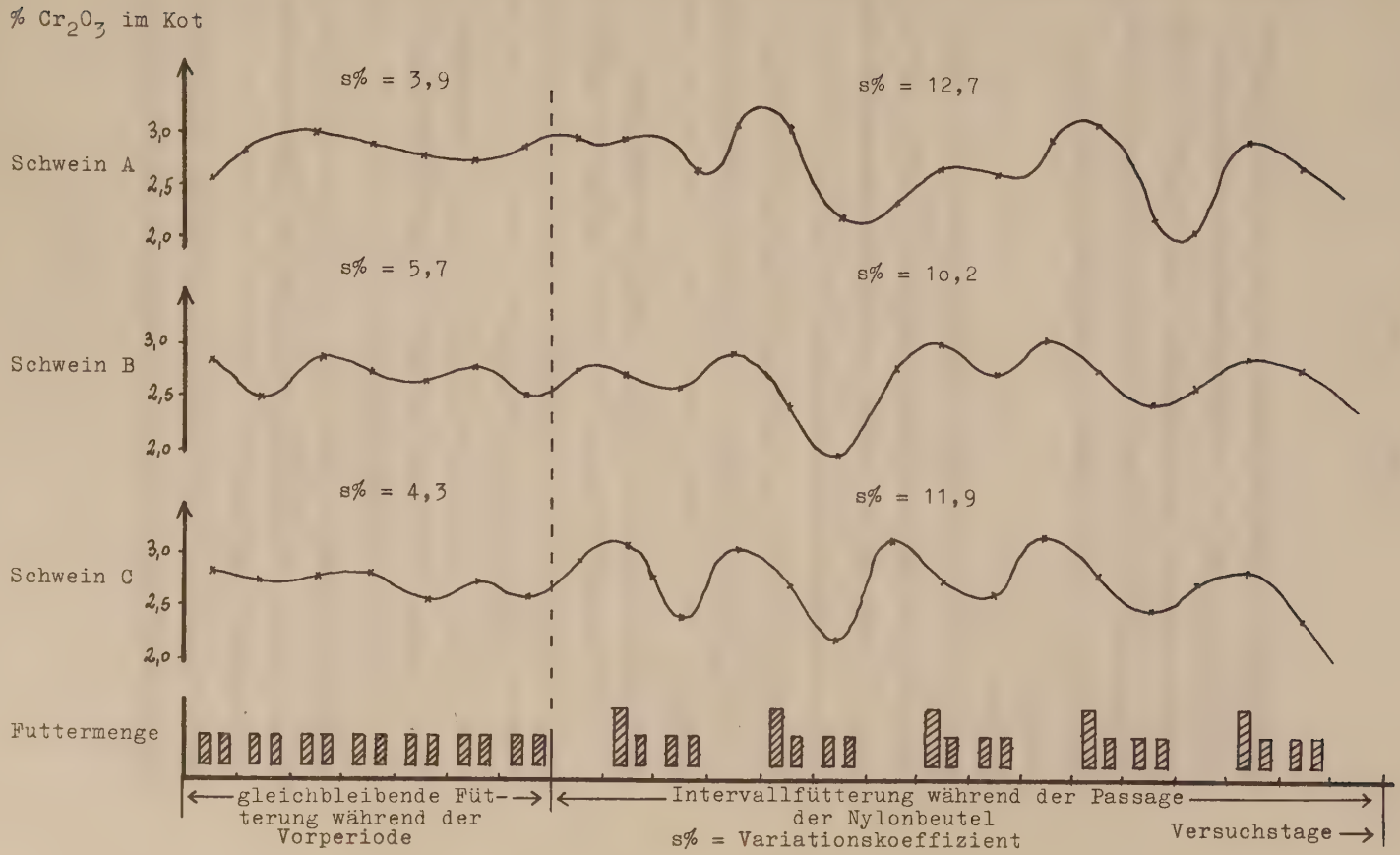
Versuchs-tage	Fütterung	
1. 8 Uhr	keine Fütterung	Tiere nüchtern wiegen Eingabe der Nylonbeutel
1. 16 Uhr	keine Fütterung	
2. 8 Uhr	doppelte Rationsmenge	
2. 16 Uhr	einfache Rationsmenge	
3. 8 Uhr	einfache Rationsmenge	Aufsuchen der Nylon-beutel im Kot
3. 16 Uhr	einfache Rationsmenge	Aufsuchen der Nylon-beutel im Kot

Nur bei strikter Einhaltung dieser Fütterungstechnik konnten gute Wiederauffindungsraten der Nylonbeutel (6o-9o%) erzielt werden. Trotzdem wurden von einzelnen Tieren ohne ersichtlichen Grund, entweder schon bei der ersten oder aber nach wiederholten Beutel-Eingaben, keine Beutel mehr im Kot ausgeschieden. Solche Schweine mußten dann notwendigerweise ausgewechselt werden.

4.6. Die Chromoxid-Indikatormethode

Zur Überprüfung der Zuverlässigkeit der von uns entwickelten Nylonbeutel-Technik für Verdaulichkeitsbestimmungen der Futter-TS. wurde bei allen Untersuchungen der D%-Wert der Futter-TS. auch nach der Cr_2O_3-Indikatormethode am gleichen Versuchstier bestimmt.
Bei unseren vergleichenden Verdaulichkeitsuntersuchungen ergaben sich aufgrund der besonderen Fütterungstechnik im Rahmen der NBT stärker schwankende Cr_2O_3-Werte in der Kot-TS. Eine befriedigende Wiederauffindungsrate der Nylonbeutel im Kot konnte nur erreicht werden, wenn die Versuchstiere am Tag der Beuteleingabe ganztägig hungerten und am darauffolgenden Morgen ihnen die doppelte Menge der Futterration gereicht wurde. Aufgrund der Intervallfütterung in der Hauptperiode variierte der Cr_2O_3-Gehalt in den Kotproben, die nach der Beuteleingabe gesammelt wurden, wesentlich stärker als bei vorausgegangener konstanter und gleichbleibender Futteraufnahme in der Vorperiode (Abb.4).

Cr_2O_3-Konzentration im Tageskot in Abhängigkeit zur aufgenommenen Futtermenge



Deshalb wurde zur zuverlässigen Verdaulichkeitsbestimmung nach der Cr_2O_3-Methode an den beiden letzten Tagen der Vorperiode jeweils der 24-Std.-Kot der einzelnen Versuchstiere gesammelt, in einem Umlauferhitzer bei 105°C 12 Std. getrocknet und anschließend in einer Messermühle fein gemahlen.

Die quantitative Bestimmung des Cr_2O_3-Gehaltes in Futter- und Kotproben ist nicht unproblematisch. Das Prinzip der Methode beruht darauf, nach Veraschung der organischen Substanz der Futter-bzw.Kotprobe das chemisch inerte Cr_2O_3 durch Oxydation seines 3-wertigen Chromions (Cr^{III}) zum 6-wertigen Chromion (Cr^{VI}) in wasserlösliche Chromate überzuführen.

Zwei Aufschlußverfahren stehen hierzu zur Verfügung:

1. Trockene Veraschung der org. Substanz bei 600°C mit anschließender Oxydation des Cr_2O_3 in alkalischer Schmelze (14;46),
2. Nasse Veraschung der org. Substanz mit Mineralsäuren und Oxydation des Cr_2O_3 mit Perchlorsäure in einem Arbeitsgang (5;28).

Bei beiden Verfahren lassen sich die nach Aufschluß erhaltenen farbigen Chromationen photometrisch quantitativ in der Meßlösung bestimmen.

Beim Studium der in der Literatur angegebenen Analysenverfahren zur quantitativen Cr_2O_3-Bestimmung in Futtermitteln

und Faeces ließ sich feststellen, daß der photometrischen Differenzierung der nach Oxydation abhängig vom pH-Wert der Meßlösung in variierenden Mengenverhältnissen vorliegenden verschiedenen Chromaten (CrO_4", Cr_2O_7", Cr_nO_{3n+1}") keine Bedeutung beigemessen wurde.

Wir sahen uns deshalb im Rahmen dieser Arbeit veranlaßt, die analytische Bestimmung des Cr_2O_3-Gehaltes in Futter- und Kotproben zu überprüfen und methodisch zu verbessern. Nach eigenen Untersuchungen (45) liegt das tatsächliche Absorptionsmaximum für verdünnte Chromatlösungen in Abhängigkeit vom pH-Wert der Meßlösung im Wellenlängenbereich von 35o-372 nm. Die Extinktionsmessung bei 44o nm, wie sie bei den in der Literatur beschriebenen Analysenverfahren angegeben wird (5;28;46), findet bei wässrigen und alkalischen Lösungen nicht in einem Absorptionsmaximum, sondern am steil abfallenden Ast der Absorptionskurve statt. Es treten deshalb wahre und scheinbare Abweichungen vom LAMBERT - BEER'schen Gesetz auf und die dadurch entstehenden Meßfehler werden unterschätzt.
Eine quantitative photometrische Bestimmung von Cr_2O_3 über Chromat ist nach unseren Untersuchungen nur möglich, wenn die Extinktionsermittlung des Monochromats bei 37o nm im alkalischen Milieu (pH > 11) vorgenommen wird.
Die von uns verbesserte Analytik zur Bestimmung des Cr_2O_3-Gehaltes in Futter-und Kotproben wird im folgenden beschrieben:

Reagentien (MERCK)

Chrom-III-oxid, wasserfrei 99%
Perchlorsäure p.A. etwa 7o%
Schwefelsäure p.A. 95 - 97%
Natronlauge p.A. mind. 32%
Natronlauge o,1 N
Natriummolybdat Na_2 Mo O_4 x 2 H_2O p.A.

Herstellung des Oxydationsgemisches (5)

Zu einer Lösung von 1o g Na-Molybdat in 15o ml Aqua dest. werden vorsichtig 15o ml konzentrierte Schwefelsäure gegeben. Nach Erkalten werden 2oo ml 7o%ige Perchlorsäure hinzugefügt und umgeschüttelt.

Aufschluß der Analysenprobe

5oo mg-Chargen der feingemahlenen und lufttrockenen Futter- bzw. Kotproben (o,3 - 4,o% Cr_2O_3-Gehalt) werden zusammen mit 5 ml Oxydationsgemisch in einem 1oo ml - Kjeldahlkolben unter dem Perchlorsäureabzug auf einem Mikrobrenner erhitzt. Die entweichenden Perchlorsäuredämpfe werden über ein Abzugsrohr durch eine Wasserstrahlpumpe abgesaugt. Nach etwa 5 Min.Siedehitze erfolgt die Oxydation des Cr^{III} zu Cr^{VI}, erkennbar an dem Farbumschlag von grün nach gelb-orange. Die klare Lösung wird nach Erkalten mit 2 ml 7o%iger Perchlorsäure ver-

setzt und nochmals 5 Min.erhitzt. Die abgekühlte, stark saure Lösung wird mit wenig Aqua dest.verdünnt und schließlich mit etwa 25 ml 32%iger NaOH vorsichtig unter Kühlung alkalisiert. Hierbei verfärbt sich die Meßlösung nach grüngelb und enthält bei pH > 11 nur noch Monochromat ($CrO_4^{"}$). Zur Vermeidung von Cr^{VI}-Verlusten durch Adsorption wird der sich beim Alkalisieren der Meßlösung abscheidende Silikatniederschlag 1o Min. lang bei 35oo U/min abzentrifugiert und zweimal mit etwa 5 ml 32%iger NaOH ausgewaschen. Die klaren, grünlich-gelben Überstände werden gesammelt und vereint in einen 1oo ml - Meßkolben mit o,1 N NaOH aufgefüllt.

Photometrische Bestimmung

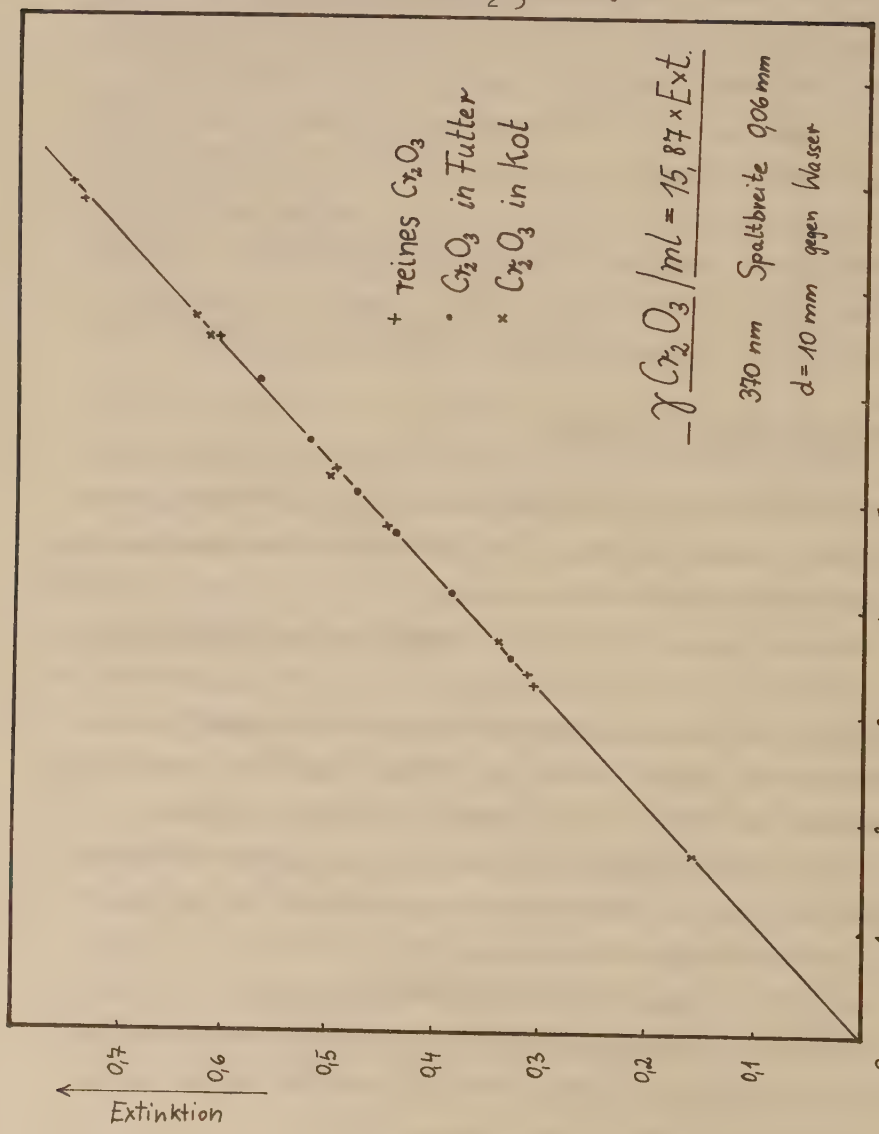
Um dem unterschiedlichen Gehalt an Cr_2O_3 in Futter-und Kotproben Rechnung zu tragen und die Extinktionsmessung im chromäquivalenten Konzentrationsbereich von 2-1o mg Cr_2O_3/l durchführen zu können, werden zur photometrischen Messung 5 ml der alkalischen Monochromatlösung mit o,1 N NaOH entsprechend verdünnt. Die Extinktionsmessung wird mit Hilfe eines Spektralphotometers (ZEISS PQM II) bei 37o nm gegen Aqua dest. durchgeführt (Glasküvette d = 1,o cm; Spaltbreite o,o6 mm).
Der Cr_2O_3-Gehalt wird unter Berücksichtigung der Verdünnung der Meßlösung mit Hilfe einer Eichkurve bzw. mit der sich aus dieser ergebenden Beziehung

$$\text{mcg } Cr_2O_3/\text{ml} = 15{,}87 \times \text{Extinktion}$$

berechnet. In dem untersuchten Konzentrationsbereich 2-1o mg Cr_2O_3/l zeigt die Eichkurve (Abb.5) zwischen Extinktion und Konzentration einen streng linearen Verlauf.

Abbildung 5

Eichkurve zur quantitativen Cr_2O_3- Analytik



4.7. Herstellung und Eingabe der Nylonbeutel

Die Nylonbeutel wurden in tetraederähnlicher Form mit Hilfe eines Schweißgerätes[1] aus dem monofilen Nylongewebe NYTAL 5/u Spezial[2] hergestellt. Die scharfkantigen Schweißnähte wurden vor dem Einfüllen des Untersuchungsmaterials nach innen gestülpt, um mechanische Verletzungen der Darmschleimhaut zu verhindern. Die einzelnen Nylonbeutel wurden mit Wäschetusche durch Ziffern gekennzeichnet und im Trockenschrank getrocknet. In die Nylonbeutel wurden Cr_2O_3-freie Futterproben eingeschweißt, da, wie in vitro-Versuche zeigten, das staubfeine Chromoxid aus dem Beutel teilweise ausgeschwemmt wird und dadurch bei der Rückwägung des unverdauten Beutelinhalts nach der Magen-Darm-Passage Fehlmessungen zu erwarten sind. Das lufttrockene Untersuchungsmaterial wurde in einer elektrischen Kaffeemühle 2 Min.lang fein gemahlen und davon 5oo mg-Chargen in die Nylonbeutel eingeschweißt. Die etwa 3ox1ox1o mm großen Nylonbeutel wurden nur bis zu 2/3 ihres Volumens mit Untersuchungsmaterial gefüllt. Parallel dazu wurden Proben zur TS.-Bestimmung des Materials entnommen. Die Nylonbeutel wurden den Versuchstieren über eine Magen-Schlund-Sonde direkt in den Magen eingegeben. Hierbei wurden die Tiere im Stoffwechselkäfig mit einer Oberkiefer-Schlinge fixiert und die Schlundsonde (PVC-Schlauch, 8o cm lang, 12 mm lichte Weite) mit Hilfe eines durchbohrten Maulkeils bis in den Magen eingeführt. Zum besseren Abgleiten

---

1) Schweißgerät Type 69, zum Verschweißen thermoplastischer Kunststoff-Folien, Fa. WIEDMANN K.G., Stuttgart.

2) Schweiz. Seidengaze-Fabrik A.G., Thal/St.Gallen.

wurden die Nylonbeutel einzeln in magenlösliche Gelatine-Kapseln (o,75 ccm) gesteckt und durch die Sonde mit wenig handwarmem Wasser in den Magen gespült. Bei jeder Eingabe wurden den einzelnen Versuchsschweinen je 6 Nylonbeutel appliziert.

Bei den Versuchen konnten etwa 7o% der eingegebenen Nylonbeutel 48-6o Std. nach der Eingabe im Kot aufgefunden werden.Da die Verweildauer dieser Beutel im Magen-Darm-Kanal etwa der physiologischen Futterpassagezeit beim Schwein entspricht (34), wurden Beutel, die außerhalb des oben genannten Zeitraums mit dem Kot ausgeschieden wurden, nicht ausgewertet. Die Beutel wurden mit Wasser aus dem Kot ausgeschwemmt, von anhaftenden Kotresten befreit und zur Bestimmung ihres TS.-Gewichtes bei 1o5°C 3 Std.lang getrocknet.

Die prozentuale Verdaulichkeit der Futter-TS. in den Nylonbeuteln errechnet sich aus der Gewichtsabnahme der TS. des Beutelinhalts während der Passage:

$$D\%_{TS.} = \frac{\text{Gewichtsabnahme des Beutelinhalts}}{\text{Beuteleinwaage}} \times 1oo.$$

Bei der Berechnung nach obiger Formel braucht das Gewicht der Beutelhülle (trocken) nicht berücksichtigt werden, da dieses sich aufgrund der Unverdaulichkeit des Nylongewebes bei der Tierkörperpassage nicht verändert.

5. E R G E B N I S S E

Die Untersuchungen der vorliegenden Arbeit schließen sich an die RECH'schen Ergebnisse an, die in einem Vorversuch nochmals überprüft werden sollten. RECH (48) verdünnte ein handelsübliches Schweinemastfertigfutter (Zusammensetzung S.29) mit 17,8% bzw. 3o,7% einer verdauungsinerten Cellulose (S.3o) und setzte damit die Verdaulichkeit der Futtertrockenmasse in den Versuchsdiäten entsprechend herab. Die mit der NBT- und Cr_2O_3-Methode ermittelten Verdaulichkeitswerte der Futter-TS. der drei untersuchten Versuchsdiäten stimmten überein (Tab.3).

5.1. Vorversuch (Verdünnungsversuch)

In ein Schweinemastfertigfutter (S.29) wurden 1o,6% pulverförmige Cellulose (S.3o) und o,47% Cr_2O_3 eingemischt. Die TS.-Verdaulichkeit dieser Versuchsdiät wurde über die Cr_2O_3-Indikatormethode und ebenso mit dem Verfahren der Nylonbeuteltechnik an drei Schweinen (3o-8o kg LG) bestimmt. Die ermittelten D%-Werte für die Futter-TS. der untersuchten Diät waren für beide Verfahren nahezu identisch (Tab.5) und ein statistisch gesicherter Unterschied zwischen den angegebenen Mittelwerten konnte nicht nachgewiesen werden (t= o,72). Die Berechnung der t-Werte und der Freiheitsgrade wurde nach WELCH (58) durchgeführt.

Tabelle 5

Verdaulichkeit der Futter-TS. (%) eines mit 1o,6% Cellulose verdünnten Schweinemastfertigfutters (Vorversuch)[1)]

Ermittelt nach der Cr_2O_3-Methode			Ermittelt nach der Nylonbeutel-Technik		
Schweine			Schweine		
A	B	C	A	B	C
7o,35	65,1o	72,88	67,63	67,98	68,26
7o,18	69,65	72,12	69,49	7o,46	68,o2
71,61	74,37	73,51	74,o8	75,38	74,8o
71,38	74,44	73,78	69,52	71,73	74,78
			7o,86	68,67	-
			72,16	-	-
			7o,25	-	-
$\bar{x}$= **71,61**	s= 2,63 n= 12		$\bar{x}$= **70,88**	s= 2,67 n= 16 R= 44	

$\bar{x}$= Mittelwert der Einzelbestimmungen
s= Standardabweichung
n= Anzahl der Einzelbestimmungen
R= Wiederauffindungsrate (%) der Nylonbeutel

1) Vorausberechnete Verdaulichkeit der Gesamtration bei Cellulose-D_{part}= o : 7o,4%

5.2. Überkreuzversuche

Um die TS.-Verdaulichkeit des Nylonbeutel-Inhalts in Abhängigkeit von unterschiedlichen Haltungsdiäten zu prüfen, erschien das in Abb.2 schematisch dargestellte Überkreuzverfahren geeignet.

Im Überkreuzversuch I erhielten je drei Schweine (3o-8o kg) eine mit ca. o,5% Cr_2O_3 angereicherte Haltungsdiät mit qualitätiv identischem Grundkörper, der

a) zu 1oo% (Diät A_I, Zusammensetzung S.31) und

b) zu 8o% + 2o% pulverförmigem Polyäthylen (Diät B_I, Zusammensetzung S.31)

verabreicht wurde. Die Fütterungsperioden für die Diäten A_I und B_I betrugen jeweils 14 Tage. In diesem Zeitraum wurde die TS.-Verdaulichkeit für die Diäten A_I und B_I mit Hilfe der Cr_2O_3-Indikatormethode bestimmt. Simultan zur Fütterung von Diät A_I wurden den Schweinen viermal 3 Nylonbeutel, gefüllt mit Diät A_I sowie viermal 3 Nylonbeutel, gefüllt mit Diät B_I, eingegeben, und nach der Magen-Darm-Passage die TS.-Verdaulichkeit der Diäten A_I und B_I durch Rückwägung des unverdauten Beutelinhalts bestimmt. In der anschließenden Fütterungsperiode mit Diät B_I wurde analog verfahren, die Verdaulichkeit der Futter-TS. der Diät B_I nach der Cr_2O_3-Methode ermittelt sowie die Futter-TS.-Verdaulichkeit der Diäten A_I und B_I nochmals nach der NBT bestimmt.

Die nach der Cr_2O_3-Methode ermittelte Verdaulichkeit der Futter-TS. von A_I und B_I wird in der Tab. 6 angegeben. Die im Überkreuzverfahren nach der NBT ermittelte TS.-Verdaulichkeit der Diät A_I ist in Tab.7, die der Diät B_I in Tab.8 zusammengestellt.

Tabelle 6

Verdaulichkeit der Futter-TS. (%) der unverdünnten (Diät A_I) und verdünnten Getreide-Diät (Diät B_I), ermittelt nach der Cr_2O_3-Methode

Getreide-Diät unverdünnt (Diät A_I)			Getreide-Diät verdünnt (Diät B_I)		
Schweine			Schweine		
A	B	C	A	B	C
81,81	8o,76	81,85	65,o6	63,8o	64,89
81,75	8o,72	81,83	64,94	63,78	63,15
81,7o	81,75	81,85	63,97	63,o7	64,51
81,56	81,67	81,91	63,87	63,21	64,25
$\bar{x}$= **81,59**	s= o,43 n= 12		$\bar{x}$= **64,04**	s= o,71 n= 12	

$\bar{x}$= Mittelwert der Einzelbestimmungen
s= Standardabweichung
n= Anzahl der Einzelbestimmungen

Tabelle 7

Verdaulichkeit der Futter-TS. (%) der unverdünnten Getreide-Diät (Diät A_I) ermittelt nach der Nylonbeutel-Technik

Haltungsdiät A_I (Getreidediät unverdünnt)			Haltungsdiät B_I (Getreidediät verdünnt)		
Schweine			Schweine		
A	B	C	A	B	C
8o,55	82,13	8o,77	85,17	8o,25	81,92
81,o8	81,19	79,53	83,98	83,26	84,26
82,o9	8o,62	81,15	79,92	84,19	85,24
8o,73	77,19	79,54	73,56	84,24	84,52
78,o7	81,41	8o,68	83,44	82,66	85,24
81,83	81,96	82,55	84,59	84,o7	-
82,22	81,17	-	79,97	-	-
8o,71	81,93	-	83,83	-	-
83,o5	-	-	8o,99	-	-
83,71	-	-	75,36	-	-
-	-	-	83,35	-	-
-	-	-	74,82	-	-
$\bar{x}$= **81,07**		s= 1,45 n= 24 R= 66	$\bar{x}$= **82,12**		s= 3,41 n= 25 R= 7o

$\bar{x}$= Mittelwert der Einzelbestimmungen
s= Standardabweichung
n= Anzahl der Einzelbestimmungen
R= Wiederauffindungsrate (%) der Nylonbeutel

Tabelle 8

Verdaulichkeit der Futter-TS. (%) der verdünnten Getreide-Diät (Diät B_I) ermittelt nach der Nylonbeutel-Technik

Haltungsdiät A_I (Getreidediät unverdünnt)			Haltungsdiät B_I (Getreidediät verdünnt)		
Schweine			Schweine		
A	B	C	A	B	C
62,77	62,09	62,88	64,66	59,29	64,07
61,38	64,07	65,63	65,48	63,97	62,56
65,33	63,66	62,46	66,34	62,62	65,09
61,44	61,83	62,38	63,01	65,25	57,07
62,87	65,59	61,13	62,75	64,07	58,25
65,63	64,09	61,99	60,44	64,54	-
60,66	-	64,27	63,35	63,39	-
65,18	-	62,39	66,74	-	-
63,02	-	64,48	63,22	-	-
64,20	-	65,32	65,27	-	-
66,61	-	-	62,96	-	-
-	-	-	64,09	-	-
$\bar{x}$= **63,46**		s= 1,64 n= 27 R= 75	$\bar{x}$= **63,27**		s= 2,39 n= 24 R= 66

$\bar{x}$= Mittelwert der Einzelbestimmungen
s= Standardabweichung
n= Anzahl der Einzelbestimmungen
R= Wiederauffindungsrate (%) der Nylonbeutel

Im Überkreuzversuch II, der methodisch wie Überkreuzversuch I durchgeführt wurde, unterschieden sich die untersuchten Futterrationen A_{II} und B_{II} qualitativ in der Zusammensetzung ihrer Einzelkomponenten:

Maisration (Diät A_{II}, Zusammensetzung S.31)

Gerstenration (Diät B_{II}, Zusammensetzung S.31).

Die nach der Cr_2O_3-Methode ermittelte Verdaulichkeit der Futter-TS. von Diät A_{II} und Diät B_{II} ist in Tab.9 aufgeführt.

Tab.1o gibt die nach der NBT im Überkreuzverfahren ermittelte TS.-Verdaulichkeit der Diät A_{II}, Tab.11 die der Diät B_{II} wieder.

In der Tab.12 sind die Ergebnisse der Überkreuzversuche und deren statistische Auswertung festgehalten.

Tabelle 9

Verdaulichkeit der Futter-TS. (%) der Mais-Diät (A_{II}) und der Gersten-Diät (B_{II}) ermittelt nach der Cr_2O_3-Methode

Mais-Diät (A_{II})			Gersten-Diät (B_{II})		
Schweine			Schweine		
A	B	C	A	B	C
87,76	86,14	87,23	83,47	85,71	83,3o
87,52	86,71	87,31	83,71	85,56	82,79
87,62	87,21	88,45	84,58	83,17	85,44
88,35	87,62	88,6o	83,53	84,97	85,47
$\bar{x}$= **87,54**		s= o,72 n= 12	$\bar{x}$= **84,31**		s= 1,o9 n= 12

$\bar{x}$= Mittelwert der Einzelbestimmungen
s= Standardabweichung
n= Anzahl der Einzelbestimmungen

Tabelle 1o

Verdaulichkeit der Futter-TS. (%) der Mais-Diät (Diät A_{II}) ermittelt nach der Nylonbeutel-Technik

Haltungsdiät A_{II} (Mais-Diät)			Haltungsdiät B_{II} (Gersten-Diät)		
Schweine			Schweine		
A	B	C	A	B	C
89,o3	88,8o	89,57	87,99	88,99	92,14
85,o6	89,54	89,61	87,14	8o,81	88,24
9o,14	91,49	87,71	92,o5	84,27	89,96
86,28	89,14	89,6o	87,49	82,99	9o,o4
88,84	69,o1	9o,89	-	87,97	89,39
89,11	88,71	88,52	-	91,41	92,97
91,49	-	87,72	-	88,14	88,36
-	-	88,99	-	86,47	85,48
-	-	88,55	-	-	89,54
-	-	-	-	-	84,o3
$\bar{x}$= **88,10**		s= 4,51 n= 22 R= 61	$\bar{x}$= **87,99**		s= 3,o8 n= 22 R= 61

$\bar{x}$= Mittelwert der Einzelbestimmungen
s= Standardabweichung
n= Anzahl der Einzelbestimmungen
R= Wiederauffindungsrate (%) der Nylonbeutel

Tabelle 11

Verdaulichkeit der Futter-TS. (%) der Gersten-Diät (Diät B_{II}) ermittelt mit der Nylonbeutel-Technik

Haltungsdiät A_{II} (Mais-Diät)			Haltungsdiät B_{II} (Gersten-Diät)		
Schweine			Schweine		
A	B	C	A	B	C
71,45	9o,43	85,69	84,32	86,4o	81,65
67,64	79,57	79,67	82,78	83,84	87,37
82,36	91,79	74,91	79,95	8o,24	87,81
66,95	87,o1	82,77	82,87	82,21	82,87
-	91,86	87,99	8o,o2	82,37	83,97
-	87,o8	87,25	84,88	83,o3	81,92
-	-	-	86,49	83,82	82,o1
-	-	-	8o,29	-	85,19
-	-	-	84,o2	-	85,52
-	-	-	-	-	83,98
		s= 8,16			s= 2,19
$\bar{x}$= **82,15**		n= 16 R= 44	$\bar{x}$= **83,45**		n= 26 R= 7o

$\bar{x}$= Mittelwert der Einzelbestimmungen
s= Standardabweichung
n= Anzahl der Einzelbestimmungen
R= Wiederauffindungsrate (%) der Nylonbeutel

Tabelle 12

Mit Hilfe der NBT und der Cr_2O_3-Methode in Überkreuzversuchen an Schweinen ermittelte Futter-TS.-Verdaulichkeit (%) von Mischfutterrationen

Haltungsfutter:	Getreide-Diät (Diät A_I)	Getreide-Polyäthylen-Diät (Diät B_I)	Statistische Sicherheit
Cr_2O_3-Verdaulichkeit:	81,59 [1] s= 0,43 n= 12	64,04 [2] s= 0,71 n= 12	
Beutelinhalt: NBT-Verdaulichkeit:	Getreide-Diät 81,07 [3] s= 1,45 n= 24	Getreide-Poly.-Diät 63,27 [5] s= 2,39 n= 24	$t_{1/3}$ = 1,62 (-)
Beutelinhalt: NBT-Verdaulichkeit:	Getreide-Poly.-Diät 63,46 [6] s= 1,64 n= 27	Getreide-Diät 82,12 [4] s= 3,41 n= 25	$t_{1/4}$ = 0,73 (-) $t_{2/5}$ = 1,45 (-) $t_{2/6}$ = 1,54 (-)

Haltungsfutter:	Mais-Diät (Diät A_{II})	Gersten-Diät (Diät B_{II})	-
Cr_2O_3-Verdaulichkeit:	87,54 [7] s= 0,72 n= 12	84,31 [8] s= 1,09 n= 12	
Beutelinhalt: NBT-Verdaulichkeit:	Mais-Diät 88,10 [9] s= 4,51 n= 22	Gersten-Diät 83,45 [11] s= 2,19 n= 26	$t_{7/9}$ = 0,57 (-) $t_{7/10}$ = 0,65 (-) $t_{8/11}$ = 1,62 (-)
Beutelinhalt: NBT-Verdaulichkeit:	Gersten-Diät 82,15 [12] s= 8,16 n= 16	Mais-Diät 87,99 [10] s= 3,08 n= 22	$t_{8/12}$ = 1,05 (-)

s= Standardabweichung; n= Anzahl der Einzelbestimmungen

6. D I S K U S S I O N

Die Nährstoffverdaulichkeit einer gemischten Futterration ist i.d.R. der Summe der Partialverdaulichkeit der Rationseinzelkomponenten gleichzusetzen. Darüber hinaus aber kann nach Angabe verschiedener Autoren die Rationsverdaulichkeit auch durch andere Faktoren, wie z.B. die Passagegeschwindigkeit des Futterbreis im Magen-Darm-Kanal, hervorgerufen durch überreichlich angebotene Futtermenge, beeinflußt werden (4; 29;36;37). Auch alters- und rasseabhängige sowie individuelle Faktoren können auf die Verdaulichkeit einer Futterration einwirken (12;16;17;19). Bei unseren vergleichenden Untersuchungen waren jedoch solche Fragen von untergeordneter Bedeutung, da zwei Verfahren zur Verdaulichkeitsbestimmung, die Nylonbeutel-Technik (NBT) und die Cr_2O_3-Indikatormethode, lediglich mit einer zeitlichen Versetzung von 48 Std. an denselben Versuchstieren eingesetzt wurden. Die vergleichenden Verdaulichkeitsversuche wurden an drei Schweinen aus einem Wurf, beginnend bei einem Gewicht von etwa 3o kg und endend bei etwa 8o kg, durchgeführt (19).

Die Passage der Nylonbeutel im Verlauf des Verdauungskanals des Schweines wird nach unseren Beobachtungen nur beim Durchtritt durch den Pylorus behindert. Diese Störung kann aber weitgehend umgangen werden, wenn nach Eingabe der Nylonbeutel die von RECH (48) vorgeschlagene Fütterungstechnik (Inter-

vallfütterung) eingehalten wird. Die Beutel passieren dann in einem für das Schwein physiologischen Futterpassagezeitraum den Verdauungskanal und werden mit einer Wiederauffindungsrate von über 6o% im Kot ausgeschieden.

Die Zuverlässigkeit der Verdaulichkeitsbestimmungen mit der NBT konnte von RECH für einen weiten Verdaulichkeitsbereich der Futter-TS. (55-8o%) an einem mit unverdaulicher Cellulose fortschreitend verdünnten Schweinemastfertigfutter (Tab.3) bewiesen werden. Dieser Befund konnte auch durch den Vorversuch (Tab.5) zu den hier durchgeführten Überkreuzversuchen untermauert werden. Im beschriebenen Vorversuch wurde das bereits von RECH verwendete Schweinemastfertigfutter mit 1o,6% unverdaulicher Cellulose verdünnt. Die mit der NBT festgestellte TS.-Verdaulichkeit dieser Diät von 7o,88% wich nur geringfügig von dem mit der Cr_2O_3-Methode gefundenen D%-Wert von 71,61% ab, und ein statistisch gesicherter Unterschied zwischen den Verdaulichkeitswerten beider Verfahren konnte mit einem t-Wert von o,72 nicht nachgewiesen werden.

In den durchgeführten Verdünnungsversuchen wurde vorausgesetzt, daß die zugelegte Cellulose von Schweinen nicht verdaut werden konnte. Die verwendete Buchenholz-Cellulose hatte einen Gehalt von 89-9o% α-Cellulose (Polymerisationsgrad > 2oo), die durch mikrobielle Cellulasen im Dickdarm der Versuchsschweine nicht abgebaut werden kann (2o;33;52;54;6o).

Bei unseren Versuchen stand der Verdünnungseffekt der Grundfutterration durch den Futterfremdstoff Cellulose im Vordergrund. Geht man von der vollständigen Unverdaulichkeit der Cellulosezulage aus, wie das von RECH nach Fütterung der unverdünnten Cellulose in Nylonsäckchen gezeigt werden konnte und läßt auch andere mögliche Interaktionen zwischen Cellulose als Füllmaterial und TS.-Verdaulichkeit des Rationsgrundkörpers außer acht, kann die Verdauungsdepression des mit 1o,6% Cellulose verdünnten Futters vom 79,29% - wie von RECH für die unverdünnte Ration ermittelt - auf 7o,9% theoretisch vorausberechnet werden. Die in den Verdünnungsversuchen festgestellte gute Übereinstimmung der TS.-Verdaulichkeit des mit Cellulose unterschiedlich verdünnten Schweinemastfertigfutters im Experiment mit den theoretisch berechneten Verdaulichkeitswerten bestätigt die Unverdaulichkeit der verwendeten Buchenholz-Cellulose sowie das Fehlen einer Verdaulichkeitsdepression des Rationsgrundkörpers. Eine Depression der TS.-Verdaulichkeit der Grundfutterration, wie sie von anderen Autoren bei Zulage verschiedener Stoffe z.B. Glucose, Stärke, Amid, Sand und Sägemehl beim Schwein (35) und Wiederkäuer (27;29;32;42) beobachtet wurde, konnte in unseren Cellulose-Verdünnungsversuchen nicht bestätigt werden.

Die Untersuchungen von RECH gaben auch den Ausgangspunkt für die in dieser Arbeit beschriebenen Überkreuzversuche I und II. RECH konnte, wie erwähnt, durch Celluloseverdünnung die TS.-Verdaulichkeit einer Ration von ca. 8o auf 53% herabsetzen,

wobei die erhaltenen D%-Werte nach dem Cr_2O_3- und NBT-Verfahren brauchbar mit den theoretischen Vorausberechnungen übereinstimmten. Es war deshalb naheliegend, in dem von uns durchgeführten Überkreuzversuch I einer normalen Getreideration (Diät A_I) die mit 2o% Polyäthylen verdünnte gleiche Ration (Diät B_I) als Beispiel gegenüber zu stellen. Das Verfahren des Überkreuzversuchs wurde gewählt, um eine etwaige Beeinflussung der TS.-Verdaulichkeit des Beuteleinhalts durch das jeweils gleichzeitig an die Tiere gefütterte Haltungsfutter zu untersuchen.

Im Überkreuzversuch I wurde nach der Cr_2O_3-Methode die Futter-TS.-Verdaulichkeit der Getreidediät (A_I) mit 81,59% bestimmt (Tab.6). Wurden die Versuchstiere mit Diät A_I gefüttert, konnte die TS.-Verdaulichkeit der Diät A_I im Nylonbeutel mit 81,o7% gefunden werden und mit 82,12%, wenn den Tieren die Diät B_I als Haltungsfutter angeboten wurde (Tab.7). Ein Einfluß der Haltungsdiäten A_I und B_I auf die in Nylonbeuteln untersuchte TS.-Verdaulichkeit der Diät A_I konnte nicht beobachtet werden, da sich signifikante Unterschiede weder bei Haltungsdiät A_I (t=1,62) noch bei B_I (t=o,73) zu den D%-Werten der Diät A_I zwischen Cr_2O_3- und NBT-Verfahren ergaben. Die Futter-TS.-Verdaulichkeit der mit 2o% unverdaulichem Polyäthylen verdünnten Getreidediät (B_I) wurde bei der Cr_2O_3-Methode mit 64,o4% ermittelt (Tab.6). Dieser experimentell ermittelte D%-Wert der Diät B_I stimmte mit dem theoretischen Wert von 63,5% überein, der unter der Voraussetzung der Un-

verdaulichkeit des Polyäthylenmehls aus der Verdünnung der Diät A_I errechnet wurde. Im Gegensatz zum Vorversuch wurde im Überkreuzversuch I Polyäthylenmehl anstelle technischer Cellulose als Futterverdünner gewählt. Die absolute Unverdaulichkeit von Polyäthylen konnte in neueren Versuchen nachgewiesen werden, in denen dieser Kunststoff zu 5% im Futter als unverdauliche Merksubstanz zu Verdaulichkeitsbestimmungen nach der Indikatormethode erfolgreich eingesetzt wurde (8;9).
Die TS.-Verdaulichkeit der Diät B_I wurde in Nylonbeutel mit 63,46% bei Haltungsdiät A_I und mit 63,27% bei Haltungsdiät B_I festgestellt (Tab.8). Auch hier ergaben sich keine signifikanten Unterschiede, weder bei Haltungsdiät A_I (t=1,45) noch bei Haltungsdiät B_I (t=1,54) in der prozentualen TS.-Verdaulichkeit von B_I zwischen Indikatormethode und Beuteltechnik.

Im Überkreuzversuch II wurden die Diäten A_{II} (Maisdiät) und B_{II} (Gerstendiät) auf ihre TS.-Verdaulichkeit untersucht. Diese Versuchsrationen unterschieden sich im Gegensatz zu den im Überkreuzversuch I geprüften Rationen weniger in ihrem Verdaulichkeitswert als in der Zusammensetzung ihrer Futtereinzelkomponenten. Die im NBT-Verfahren ermittelte TS.-Verdaulichkeit der Diät A_{II} (88,1o%) stimmte mit dem nach der Cr_2O_3-Methode festgestellten D%-Wert von 87,54% überein (t=o,57), wenn Beutelinhalt und Haltungsfutter identisch waren. Auch für die Gerstendiät (Diät B_{II}) konnten bei glei-

chem Beutelinhalt und Haltungsfutter Unterschiede in den D%-Werten zwischen Cr_2O_3-Methode (84,31%) und NBT (83,45%) nicht gesichert werden (t=1,62). Bei der Überkreuzung der Versuchsdiäten (Maisdiät-Beutel bei Gersten-Haltungsfutter) wurde die mit der NBT untersuchte TS.-Verdaulichkeit der Maisdiät nicht beeinflußt. Der hierbei im Beutel ermittelte Wert von 87,99% entsprach dem D%-Wert der TS., wie er bei Verfütterung der Maisdiät als Haltungsfutter mit Hilfe der Cr_2O_3-Methode bzw. NBT ermittelt wurde. Ein signifikanter Unterschied mit t=o,65 konnte auch in diesem Fall nicht nachgewiesen werden. Demgegenüber wurde eine geringe Verdaulichkeitsdepression der Gersten-TS. im NBT-Verfahren bei Maisdiät als Haltungsfutter beobachtet. Der gefundene Wert von 82,15% lag geringfügig niedriger als der von 84,31%, wie er mit Hilfe der Cr_2O_3-Methode bei Gerstendiät als Haltungsfutter festgestellt wurde. Der beobachtete Unterschied läßt sich jedoch mit t=1,o5 hier statistisch nicht absichern.

Die weitgehende Übereinstimmung der mit Hilfe der NBT bestimmten Futter-TS.-Verdaulichkeit mit den Werten der Cr_2O_3-Methode läßt darauf schließen, daß das im Nylonbeutel eingeschweißte Untersuchungsmaterial bei der Magen-Darm-Passage quantitativ verdaut werden kann. Der Eintritt von Verdauungsenzymen in das Beutelinnere und der ungehinderte Austritt der gelösten Nährstoffe durch die Poren des verwendeten Nylongewebes NYTAL 5/u Spezial scheint demnach ungestört stattzufinden. Zum anderen wird das Eindringen von Futterbrei sowie

das Autreten ungelöster Futterbestandteile durch die mikroskopisch kleinen Poren der Beutelhülle verhindert. Vergleicht man in den vorliegenden Ergebnissen zwischen Cr_2O_3-Methode und NBT die Streuungen der Einzelbestimmungen vom Mittelwert, stellt man fest, daß mit Ausnahme eines Versuches im Überkreuzversuch II (s=8,16) die Standardabweichung bei der NBT ($1,45 < s < 4,51$) etwa viermal so groß ist wie bei der Cr_2O_3-Methode ($o,43 < s < 1,o9$). Dies ist nach unserer Meinung durch die Intervallfütterung nach der Beuteleingabe bedingt, die das Verdauungsvermögen der Versuchsschweine beeinflußt. Wie aus Abb.4 an drei Versuchsschweinen gezeigt wird, variiert der Cr_2O_3-Gehalt im Tageskot ($s\% \approx 11$) und somit auch die daraus berechnete Futter-TS.-Verdaulichkeit während der Beutelperioden wesentlich stärker als im Verlauf der Vorperiode bei gleichmäßiger und konstanter Futteraufnahme ($s\% \approx 4,5$). Diese Beobachtung stimmt mit den Berichten anderer Autoren überein, die eine Abhängigkeit der Verdauungskoeffizienten von der gefütterten Rationsmenge feststellten (3;6;7;11;59). Da wir im Interesse einer brauchbaren Wiederauffindungsrate der Nylonbeutel im Kot auf die beschriebene Fütterungstechnik (S.34) mit unterschiedlichen Futtermengen während der Beutelperiode im Augenblick nicht verzichten können, muß diese Schwierigkeit hingenommen werden, solange nicht eine bessere, die Verdaulichkeitswerte weniger beeinflussende Methode zur Aufrechterhaltung einer guten Wiederauffindungsrate der Nylonbeutel gefunden ist. Um Fehlresultate bei der Verdaulichkeitsbe-

stimmung nach der Cr_2O_3-Methode auszuschließen, entnehmen wir die Cr_2O_3-haltigen Kotproben vor der Eingabe der Nylonbeutel an den beiden letzten Tagen der Vorperiode eines jeden Verdauungsversuchs.

Die große Streuung der D%-Werte der im Nylonbeutel untersuchten Gerstendiät bei Maisdiät als Haltungsfutter läßt sich aber durch das oben Gesagte nicht erklären. Sie war mit s=8,16 gegenüber allen anderen NBT-Versuchen etwa doppelt so groß. Bei der analytischen Auswertung dieser Beutel wurden Verklebungen des Beutelinhalts nach der Tierpassage bemerkt. Verschiedene Gründe sprechen dafür, daß dieses unbefriedigende Einzelergebnis auf Störungen der physikalischen Austauschvorgänge durch die Beutelhülle während der Magen-Darm-Passage zurückzuführen war. Der Beutelinhalt kann nur dann hinlänglich verdaut werden, wenn die Verdauungsenzyme ungehindert durch die Poren des Nylongewebes eindringen können und die passive Diffusion der im Beutelinneren gelösten Nährstoffe nach außen auf keinen Widerstand stößt. Die gelösten Nährstoffe können dann selektiv der Resorption zugeführt werden. Nur bei vollständig ausgeglichenem Konzentrationsgefälle zwischen Beutelinnerem und angrenzendem Darmlumen kann die aus dem Beutelinhalt errechnete TS.-Verdaulichkeit den nach der Cr_2O_3-Methode erhaltenen Werten entsprechen.

Da der enzymatische Abbau der Nährstoffe nur in feuchtem Milieu stattfinden kann, ist im Magen die sofortige und

vollständige Durchfeuchtung des im Nylonbeutel eingeschlossenen, trockenen Untersuchungsmaterials notwendig. Auch das weitere Eindringen von Magen-bzw. Darmflüssigkeit soll ungestört vor sich gehen können. Aus diesem Grund muß möglichst bald nach Eingabe der Nylonbeutel im Magen die beim Einschweißen des Untersuchungsmaterials miteingeschlossene atmosphärische Luft durch die Beutelhülle austreten. Auch die bei der einsetzenden Gärung im Beutel entstehenden Gase müssen diesen jederzeit ungestört verlassen können. Der Austausch von Gas und Flüssigkeit ist aber durch die schlechte Benetzbarkeit von Nylongeweben erschwert. Stoff- und Gasaustausch werden umso besser sein, je mehr der Nylonbeutel durch die Peristaltik der Magen- bzw. Darm-Muskulatur ständig verformt und sein Inhalt durchmischt wird. Ein mit Untersuchungsmaterial zu prall gefüllter Beutel kann durch die einwirkende Peristaltik indessen nur wenig verformt werden. Das gleiche trifft zu, wenn die Beutel infolge übermäßiger Quellung des Inhalts bzw. durch Gärgase aufgetrieben sind. Bei unseren Untersuchungen wurde diesen störenden Einflüssen begegnet, indem die Nylonbeutel nur bis zu 2/3 ihres Volumens mit Untersuchungsdiät gefüllt wurden. Wir nehmen an, daß die bei unseren Untersuchungen gewählte tetraederähnliche Beutelform der Magen-Darm-Peristaltik eine erhöhte Angriffsfläche bietet und gleichzeitig die Oberfläche des Beutels für den Stoffaustausch vergrößert ist. Gegenüber flachen, kissenförmigen Beuteln scheinen die Tetraeder-Beutel besser verformbar zu sein, außerdem wurde mit ihnen eine weitaus bessere

Auffindungsrate erreicht.
Die Bedeutung der mechanischen Bearbeitung der Beutel durch die Magen-Darm-Peristaltik wird durch das Ergebnis folgenden Versuches bestätigt:
Bei einem Versuch zur Verbesserung der Wiederauffindungsrate der Nylonbeutel im Kot gingen wir von der theoretischen Überlegung aus, daß Futterbehälter in Kugel-oder Ellipsoidform den geringsten Widerstand beim Durchschlupf durch den Pylorus erfahren würden. Wir schlossen deshalb fertig abgepackte Nylonbeutel einzeln in kleine Kunststoffpatronen und gaben sie Versuchsschweinen über die Schlundsonde ein. Die nicht verformbaren Patronen waren mehrfach durchbohrt, um den Stoffaustausch zu ermöglichen. Die Wiederauffindungsrate dieser Kunststoffpatronen war überraschend hoch und lag bei annähernd 1oo%. Die in den Nylonbeuteln festgestellten TS.-Verdaulichkeitswerte der untersuchten Diät streuten jedoch mit s% = 2o ungewöhnlich stark. Außerdem lagen diese Werte (D=41,3%) ca. 5o% unter der bekannten Verdaulichkeit des eingewogenen Schweinemastfertigfutters (D= 79,29%). Dieser Befund wird auf den Wegfall der mechanischen Bearbeitung der Beutel im Magen-Darm-Kanal zurückgeführt. Zuverlässige Verdaulichkeitswerte können deshalb nur in flexiblen Futterbeuteln erzielt werden.

Wahrscheinlich kann auch die im Überkreuzversuch II nach der Magen-Darm-Passage beobachtete Verklebung des Beutelinhalts der Gerstendiät (bei Maisdiät als Haltungsfutter) auf einen

behinderten physikalischen Austausch von Gärgasen und Verdauungsflüssigkeit zurückgeführt werden. Die am Beutelinhalt angreifenden Verdauungsvorgänge im Magen und Darm verlaufen in solchem Falle nur unvollständig. Es wäre vorstellbar, daß nur die Randzone der mehligen Beutelfüllung durchfeuchtet wird und der Resorption zugeführt werden kann. Das Zentrum der Beutelfüllung bleibt dagegen mehr oder weniger trocken und dieser Futteranteil muß unverdaut bleiben.

Weichen die nach der NBT festgestellten TS.-Verdauungskoeffizienten von den mit der Cr_2O_3-Methode ermittelten Werten ab, ist außerdem daran zu denken, daß bei den Versuchstieren eine Adaptation infolge Enzyminduktion an das Haltungsfutter eingetreten sein kann. Das für das mengenmäßig überwiegende Haltungsfutter geprägte und optimale Muster der Verdauungsenzyme braucht nicht notwendigerweise auch für die quantitative Verdauung des Beutelinhalts, der im Überkreuzversuch gewissermaßen einen Fremdfutteranteil darstellt, optimal zusammengesetzt sein. Hieraus können herabgesetzte Verdauungskoeffizienten für den Beutelinhalt resultieren. Inwieweit diese Interpretation etwaige abweichende Ergebnisse der NBT erklären kann, soll hier nur angedeutet werden, zumal entsprechende systematische Untersuchungen zum Problem der Enzyminduktion noch am Anfang stehen (21;37). Bei Versuchen an Schweinen haben HOCK und Mit. (22) keine Auswirkungen auf das Wohlbefinden der Tiere bei abrupter Umstellung von eiweißarmer auf eiweißreiche Ernährung gefunden.

Die Autoren stellten fest, daß die Aktivitäten der proteolytischen Enzyme an ein weites Nahrungsspektrum angepaßt sind. RISSE (49) und SCHARRER (5o) beobachteten dagegen bei Ratten eine Anpassung der Aktivitäten der proteolytischen Fermente Glycyl-Glycinase, Pepsin und Trypsin an den Proteingehalt der Nahrung.

Die vorliegenden Untersuchungen haben jedoch gezeigt, daß weder die stark variierende TS.-Verdaulichkeit der hier verwendeten Diäten, noch ihr unterschiedlicher Gehalt an Rohnährstoffen die brauchbare Übereinstimmung der D%-Werte für die Futter-TS.-Verdaulichkeit nach der Cr_2O_3-Methode bzw. der NBT in statistisch gesichertem Umfang zu stören vermochte. Damit wäre die Voraussetzung für die technische Vereinfachung und auch zeitliche Abkürzung des klassischen Verdauungsversuchs erfüllt. Es steht zu hoffen, daß auch die D%-Werte für die Einzelnährstoffe (Rohprotein, Rohfett, Rohfaser, N-freie Extr.) sowie auch die Bestimmung der verdaulichen Energie (VE) mit Hilfe der NBT erreicht werden kann und auch hier die Abweichungen zu Werten der Cr_2O_3-Methode unter der Signifikanzschwelle bleiben. Über diesbezügliche Untersuchungen, die parallel zu der hier beschriebenen Futter-TS.-Verdaulichkeit durchgeführt wurden, wird in weiteren Dissertationsschriften berichtet werden.

Zusammenfassend wird festgestellt, daß die Nylonbeutel-Technik bei der Verdaulichkeitsbestimmung der Futter-TS. zu einer wesentlichen Vereinfachung und zeitlichen Abkürzung des klassischen Verdauungsversuchs geführt hat. Mit Hilfe der NBT sollten sich Verdaulichkeitsbestimmungen auch auf Substanzen ausdehnen lassen, denen der Charakter eines Alleinfuttermittels fehlt und deren Verdauungskoeffizienten bisher nur über den zeitlich noch aufwendigeren Differenzversuch ermittelt werden konnten. Schließlich verspricht die NBT Erfolg bei der Bestimmung der "scheinbaren" Verdaulichkeit von schwer löslichen Mikronährstoffen organischer oder anorganischer Herkunft, für die Verdaulichkeitsbestimmungen mit den bisher üblichen Methoden in vielen Fällen überhaupt nicht möglich waren.

7. ZUSAMMENFASSUNG

Zur technischen Vereinfachung und zeitlichen Abkürzung des klassischen Verdauungsversuchs am Schwein wurde die vom Studium der Pansenverdauung des Wiederkäuers bekannte Nylonbeutel-Technik (NBT) weiter entwickelt. In den ersten Untersuchungen zur Methodik der NBT sollte nur die Futter-TS.-Verdaulichkeit verschiedener Mischfutterrationen in Nylonbeuteln überprüft werden.

In permeable Nylongewebebeutel fest eingeschlossene Mischfutterproben wurden den Versuchsschweinen per os über eine Schlundsonde eingegeben und 48 Std. später im Kot wieder aufgesucht. Durch Differenzbildung des getrockneten Beutelinhalts vor und nach der Tierkörperpassage wurden die TS.-Verdaulichkeitswerte (D%) der Versuchsdiäten bestimmt. Zur Kontrolle der mit der NBT erhaltenen Verdaulichkeitswerte wurde die Futter-TS.-Verdaulichkeit mit Hilfe der Cr_2O_3-Indikatormethode an denselben Versuchstieren ermittelt. Die Untersuchungen wurden an jeweils 3 Schweinen in der Gewichtsklasse von 3o-8o kg durchgeführt.

In der vorliegenden Arbeit wurde der Einfluß unterschiedlich zusammengesetzter Haltungsdiäten auf die TS.-Verdaulichkeit der im Nylongewebe eingeschlossenen Futterproben in einem "Überkreuzverfahren" untersucht:

In der Fütterungsperiode A erhielten die Versuchsschweine als Haltungsfutter Diät A. Gleichzeitig wurden ihnen Nylonbeutel mit den Diäten A und B eingegeben. In der sich anschließenden Fütterungsperiode B wurde den TierenDiät B als Haltungsfutter

angeboten und nochmals A- und B-Beutel eingegeben. Simultan dazu wurde in den Fütterungsperioden A und B die TS.-Verdaulichkeit der Diäten A und B nach der Cr_2O_3-Methode bestimmt.

In der ersten Versuchsreihe wurde eine Getreidediät (A_I) bzw. dieselbe Getreidediät mit einem Zusatz von 2o% unverdaulichem Polyäthylenmehl (B_I) untersucht. Die mit der NBT gefundene Futter-TS.-Verdaulichkeit stimmte gut mit den nach der Cr_2O_3-Methode erhaltenen Werten überein und ein Einfluß der unterschiedlichen Haltungsdiäten auf die Verdaulichkeit der TS. im Beutelinhalt konnte nicht beobachtet werden.

In der zweiten Versuchsreihe wurde eine Maisdiät (A_{II}) und eine Gerstendiät (B_{II}) untersucht, die sich weniger in ihren D%-Werten als in der Zusammensetzung ihrer Futtereinzelkomponenten unterschieden. Eine gute Übereinstimmung der nach beiden Methoden (NBT und Cr_2O_3) ermittelten Futter-TS.-Verdaulichkeit der Diäten A_{II} und B_{II} konnte wiederum gefunden werden, wenn Beutelinhalt und Haltungsfutter identisch waren. Auch die in Nylonbeuteln bei Gerstendiät als Haltungsfutter festgestellte TS.-Verdaulichkeit der Maisdiät deckte sich mit dem Cr_2O_3-Verdaulichkeitswert dieser Diät. Demgegenüber wurde eine geringe Depression der TS.-Verdaulichkeit der Gerstendiät beim NBT-Verfahren mit Maisdiät als Haltungsfutter beobachtet. Die Abweichung war jedoch statistisch nicht abzusichern.

S U M M A R Y

The Nylon-Bag-Technique (NBT) was methodically developed to simplify the conventional total faecal-collection-method in swine. In a previous study the dry matter digestibility of different diets was determined by this method:
Food samples enclosed in permeable nylon bags were applicated to swines orally by stomach-sound and recovered in the faeces 48 hours later. The dry matter digestibility was calculated on the weight difference of the dried nylon bag contents before and after gastrointestinal passage. The digestion values obtained in the Nylon-Bag-Technique were checked by determining dry matter disappearance values of the diets utilizing the Cr_2O_3-indicator-method at the same time. Each experiment was undertaken with three castrate male pigs from approximately 3o to 8o kg live weight.
In the present study the influence of different basal diets on the dry matter digestibility of food samples enclosed in nylon bags was investigated by an "overcrossing procedure". During the feeding period A basal diet A was given. At the same time nylon bags including diet A respectively diet B were applicated orally to the pigs. In the following feeding period B the same animals received diet B as basal feeding, and nylon bags containing diet A or B were administered again.

Simultaneously the dry matter digestibility of diets A and B were determined by Cr_2O_3-method during feeding period A respectively B.

In the first experiments a grain diet (A_I), and the same diet containing 2o% of undigestible polyethylene (B_I) was examined. The results obtained by NBT for dry matter digestibility of diets A and B corresponded significantly to those obtained by means of the Cr_2O_3-method. The different basal diets had no noticeable influence on the dry matter dis - appearence of the bag contents.

In the second trial the used corn diet (A_{II}) and barley diet (B_{II}) varied more in their composition than in their dry matter digestibility. When barley (B_{II}) was the basal diet the dry matter digestibility of the corn diet (A_{II}) determined in nylon bags corresponded well to such data of corn diet gained by the Cr_2O_3-method. On the other hand, a slight depression of the dry matter digestibility of the barley diet (B_{II}) in the NBT was observed. In this case corn diet (A_{II}) was given as basal diet. Statistically the deviation, however, was not significant.

8. L I T E R A T U R V E R Z E I C H N I S

(1) Algeo, J.W. Brannum, T.P. und Hibbits, A.G. 1968

An evaluation of the syrf high pressure grain-exploding process on milo: Digestibility (Nylon bag), VFA (in vitro), steer fattening performance and carcass characteristics.
J. Anim. Sci. 27, 1159

(2) Archibald, J.G. et al., 1961

Measurement of the nutritiv value of alfalfa and timothy hay by varied techniques
J. Dairy Sci. 44, 2232

(3) Baker, D.H. et al., 1968

Effect of dietary dilution on performance of finishing swine
J. Anim. Sci. 27, 1332

(4) Bergner, H., Ketz, H.A. 1969

Verdauung, Resorption, Intermediärstoffwechsel bei landwirtschaftlichen Nutztieren
VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin

(5) Bolin, D.W. et.al., 1952

A simplified method for the determination of chromic oxide when used as an index substance
J. Sci. 116, 634

(6) Boling, J.A. et al., 1967

Feed intake of cattle in response to dietary dilution with polyethylene
J. Anim. Sci. 26, 1885

(7) Boling, J.A. et al., 1967
A comparison of diet dilution with ad libitum and restricted feeding in growing swine
J. Anim. Sci. 26, 1474

(8) Chandler, P.T. et al., 1964
Polyethylene as a reference substance for digestion studies with young ruminants
J. Dairy Sci. 47, 1426

(9) Chandler, P.T. et al., 1966
Excretion of polyethylene by dairy calves
J. Anim. Sci. 25, 64

(1o) Clawson, A.J. et al., 1955
Use of chromium oxide in digestion with swine
J. Anim. Sci. 14, 7oo

(11) Crampton, E.W. et al., 1957
Interrelations between digestible nutrient and energy content voluntary dry matter intake, and the overall feeding value of forages
J. Anim. Sci. 16, 546

(12) Crampton, E.W. et al., 1951
The apparent digestibility of essentially similar diets by rats, guineapigs, sheep, swine and by human subjects
J. Nutr. 43, 541

(13) Crampton, E.W. und Lloyd, E., 1951
Studies with sheep on the use of chromic oxide as an index of digestibility of ruminant rations
J. Nutr. 45, 319

(14) Edin H.,
Orienterante försök over en pa ledkroppsprincipen grundad metod att bestämma en foderblandings smälbarket
Meddelanden fron centralanestalten för försörsöksväsendet pa jordbrusksomradet
Nr. 165 (1918), Nr. 3o9 (1926), Nr. 365 (1929), Nr. 38o (193o)

(15) Erwin, E.S. und Elliston, N.G. 1959
Rapid method of determining digestibility of concentrates and roughages in cattle
J. Anim. Sci. 18, 931

(16) Farries, E. und Angelowa L., 1967
Vergleichende Untersuchungen zur Nährstoffverdaulichkeit und Stickstoffretention bei veredelten Landschweinen, Wildschweinen und F_1-Kreuzungen
Z. Tierphysiol.Tierernähr. Futtermittelk.23, 263

(17) Farries, E., Angelowa, L. und Schröder, J., 1967
Verdaulichkeit der Rohnährstoffe in Abhängigkeit vom Wachstum
Z. Tierphysiol.Tierernähr. Futtermittelk.23, 331

(18) Farries, E., und Oslage, H.J., 1961
Zur Technik langfristiger Stoffwechselversuche an wachsenden Schweinen
Z.Tierphysiol.Tierernähr., Futtermittelk. 16, 65

(19) Gebhardt, G. und Stein, J., 1967
Untersuchungen zum Verdauungsvermögen frühentwöhnter Ferkel und wachsender Schweine
Wissenschaftl.Zeitschr.Univ. Leipzig
Mathem.-Naturwiss. Reihe 16, 213

(2o) Halliwell, G. 1959
The enzymic decomposition of Cellulose
Nutr. Abstr. and Reviews 29, 747

(21) Hartman, P.A. et al., 1961
Digestive enzyme development in the young pig
J. Anim. Sci. 2o, 114

(22) Hock, A., Weiss, H. und Risse, S., 1964
Die Aktivitäten der proteolytischen Enzyme des Verdauungstrakts
Archiv exp. Vet.Med. 18, 1357

(23) Hopson, J.D., Johnson, R.R. und Dehority, B.A., 1963
Evaluation of the Dacron bag technique as a method for measuring cellulose digestibility and rate of forage digestion
J.Anim. Sci. 22, 448

(24) Kane, E.A., Jacobson, W.C. und Moore, L.A., 195o
A comparison of techniques used in digestibility studies with dairy cattle
J. Nutr. 41, 583

(25) Kellner, O., 1912
Die Ernährung der landwirtschaftlichen Nutztiere
6. Aufl., Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin

(26) Kellner, O. und Becker, M. 1959
Grundzüge der Fütterungslehre
12.Aufl., Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin

(27) Kellner, O. und Fingerling, G. 1966
Grundzüge der Fütterungslehre
14.Aufl., Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin

(28) Kimura, F.T. und Miller, V.L., 1957
Improved determination of chromic oxide in cow feed and feces
J. Agric. and Food Chem., 5, 216

(29) Kirchgessner, M., 197o
Tierernährung
DLG-Verlag, Frankfurt/M.

(3o) Kleiber, M. 1967
Der Energiehaushalt von Mensch und Tier
Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin

(31) Lassiter, J.W. et al., 1966
Chromic oxide as an index of digestibility of all-concentrate rations for sheep
J. Anim. Sci. 25, 185

(32) Lenkeit, W., Breirem, K. und Crasemann, E., 1969
Handbuch der Tierernährung 1
Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin

(33) Mangold, E., 1929
Handbuch der Ernährung und des Stoffwechsels der landwirtschaftlichen Nutztiere 2
Springer Verlag, Berlin

(34) Mangold, E., 195o
Die Verdauung bei den Nutztieren
Akademie Verlag, Berlin

(35) Mayer, A., 1925
Ernährung und Fütterung der Nutztiere
Agrikulturchemie 4, 178

(36) Maynard, L.A. und Loosli, J.K., 1969
Animal Nutrition
6.Aufl., McGraw-Hill Book Comp., New York,
Toronto, London

(37) Morgan, J. und Lewis, D. 1962
Nutrition of Pigs and Poultry
Butterworthy, London

(38) Neatherie, M.W., 1969
Dry matter disappearence of roughages in
Nylon bag suspended in the rumen
J. Dairy Sci. 52, 74

(39) Nehring, K., 1969
in: Blaxter, K.Kielanowski, J.und Thorbek, G.,
Energy Metabolism of Farm Animals
Oriel Press Ltd., Newcastle upon Tyne

(4o) Nehring, K., et al., 1963
Die energetische Verwertung der Futterstoffe
Mitteilungen 1-6
Archiv für Tierernährung 13, 119

(41) Nehring, K., et al., 1966
Die energetische Verwertung der Futterstoffe
Mitteilungen 7-8
Archiv für Tierernährung 16, 11, 173

(42) Nehring, K., 1955
Lehrbuch der Tierernährung und Futtermittelkunde
5.Aufl., Neumann Verlag, Radebeul und Berlin

(43) Paloheimo, L. und Paloheimo, J., 1935
Eine photometrische Methode zur Bestimmung des Cr_2O_3 bei Verdaulichkeitsuntersuchungen
Tierernährung 7 , 317

(44) Petry, H.-P. und Rech, R., 1969
Vergleichende Untersuchungen zur Verdaulichkeitsbestimmung von Mischfutterrationen für Schweine
Z.Tierphysiol.Tierernähr.Futtermittelk. 25, 379

(45) Petry, H.-P. und Rapp, W., 1971
Zur Problematik der Chromoxidbestimmung in Verdauungsversuchen
Z.Tierphysiol.Tierernähr.Futtermittelk. 29, 181

(46) Piatkowski, B., Steger, H. und Püschel, F., 1962
Bestimmung sowie Ausscheidung von Chromoxid bei im Stall gefütterten und weidenden Milchkühen
Archiv für Tierernährung 12, 137

(47) Piatkowski, B., Steger, H. und Püschel, F., 1964
Die Anwendung von Chromoxid zur Verdaulichkeitsbestimmung bei Fütterungsversuchen bei Milchkühen
Archiv für Tierernährung 14, 367

(48) Rech, R.,
Dissertation Med.vet., München in Vorb.

(49) Risse, S., 1964
Änderung der Aktivität der Glycyl-Glycinase des Dünndarms und des Magenpepsins bei Ratten unter dem Einfluß wechselnd hoher Gaben von Futtereiweiß
Archiv für Tierernährung 14, 361

(5o) Scharrer, E. et al., 1967
Untersuchungen über den Verzehrsrückgang bei proteinreicher Nahrung; Mitteilung I-IV
Z.Tierphysiol.Tierernähr.Futtermittelk.22, 141

(51) Schürch, A. 1952
Die Chromoxid-Indikatormethode zur Verdaulichkeitsbestimmung
Mitteilungen auf dem Gebiet der Lebensmitteluntersuchung und Hygiene 43, 335

(52) Sibbald, J.R., 196o
Weight gain and feed intake of chicken fed a ration diluted with cellulose of kaolin
J. Nutr. 72, 441

(53) Spallanzani, 1785
Versuche über das Verdauungsgeschäfte des Menschen und verschiedener Thierarten
Verlag der Dykischen Buchhandlung, Leipzig

(54) Stählin, A., 1957
Methodenbuch XII
Die Beurteilung der Futtermittel
Neumann Verlag, Radebeul und Berlin

(55) Stutzer, A., 188o
Verfahren zur in vitro-Verdaulichkeitsbestimmung
Journal für Landwirtschaft 28

(56) Van Keuren, R.W. und Heinemann, W.W., 1962
Study of a Nylon bag technique für in vivo estimation of forage digestibility
J. Anim. Sci. 21, 34o

(57) Vanschoubroek, F., de Wilde, R. und Lampo, P., 1967
Die quantitativen Einflüsse einer Futterrestriktion bei Mastschweinen auf Zunahme, Futterverwertung und Rückenspeckdicke
An.Prof. 9, 67

(58) Welch, B.L. 1937
In Sachs, L., 1968
Statistische Auswertungsmethoden
Springer Verlag, Berlin

(59) Wöhlbier, W. und Eggers, G., 1953
Methodenbuch XIII
Die Technik des Tierversuchs
Neumann Verlag, Radebeul und Berlin

(6o) Wood, T.M. 197o
Cellulose and Cellulolysis
World Review of Nutrition and Dietetics 12, 227

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr.Dr. J. Tiews für die Überlassung des Themas und die angenehmen Arbeitsbedingungen in seinem Institut.

Herrn Dr. H.-P. Petry sei für seine stetige Hilfsbereitschaft und interessierte Förderung meiner Arbeit an dieser Stelle herzlich gedankt.

L E B E N S L A U F

Ich wurde am 28.12.1944 als Sohn des Chemikers Dr. Wilhelm R a p p in Bad Reichenhall geboren. Mein Vater verstarb 1948 infolge eines Explosionsunglücks in der BASF Ludwigshafen/Rh. 1955/56 besuchte ich das Staatl.Progymnasium Bad Dürkheim und wechselte 1956 zum Karlsgymnasium München-Pasing, wo ich 1966 das Abitur ablegte.

Im Wintersemester 1966 begann ich das Studium der Tiermedizin an der Tierärztlichen Fakultät der Ludwig-Maximilian-Universität München. Die Tierärztliche Prüfung legte ich im Sommer 1971 erfolgreich ab.